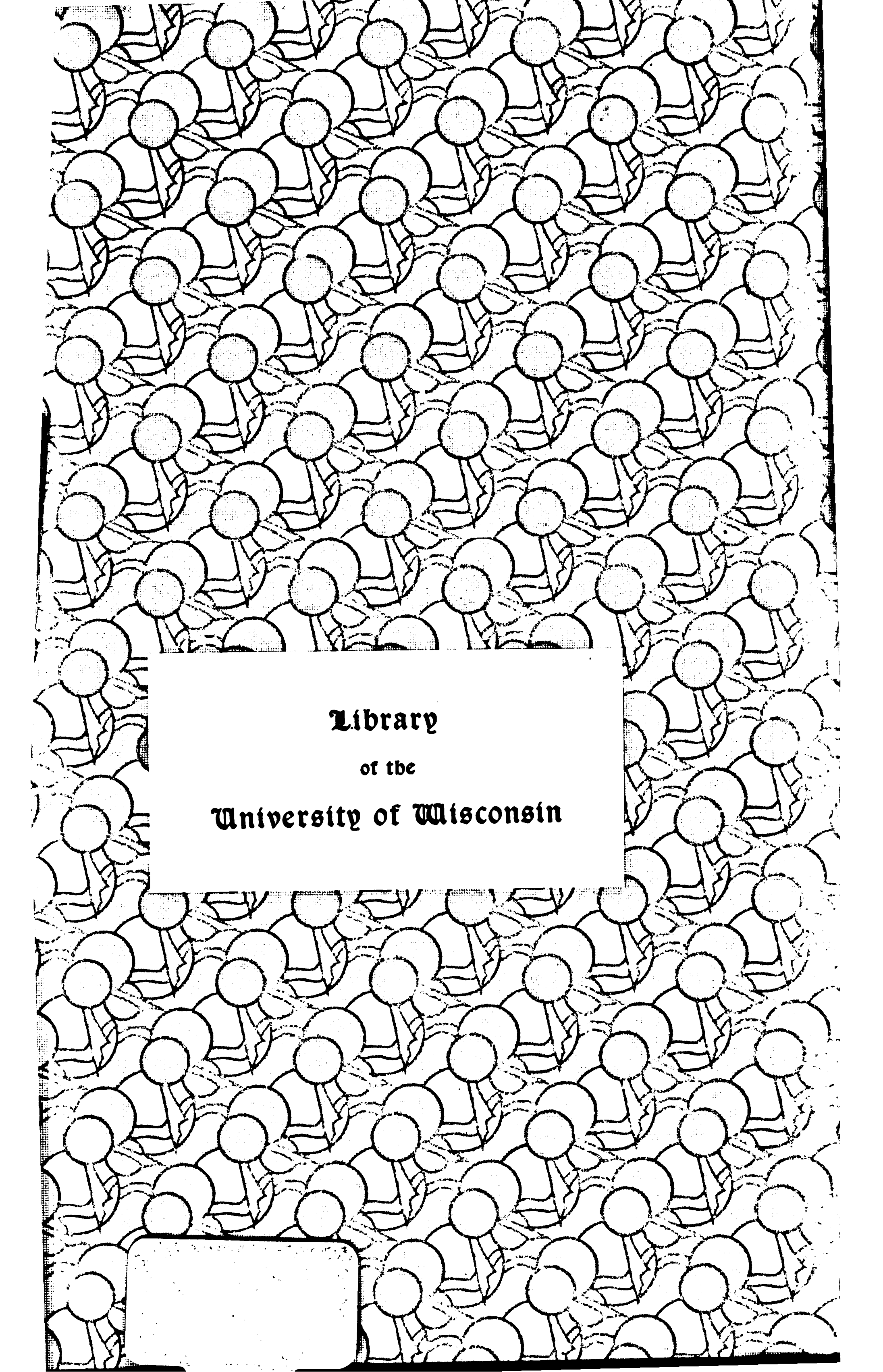
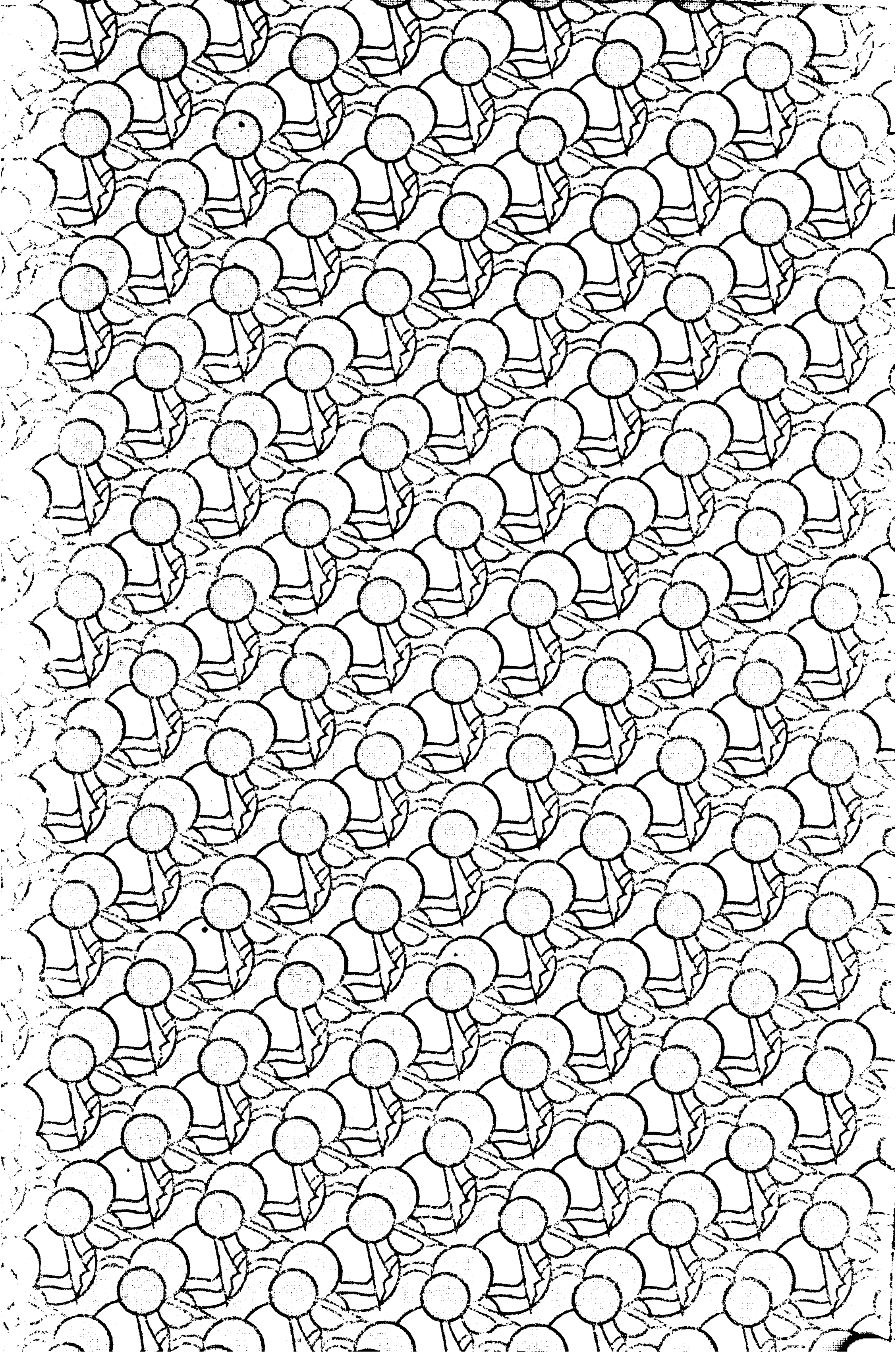

Handbuch
Eisenhüttenkunde
3.


Library
of the
University of Wisconsin



HANDBUCH

DER

EISENHÜTTENKUNDE.

HANDBUCH

DER

EISENHÜTTENKUNDE.

FÜR DEN GEBRAUCH IM BETRIEBE WIE ZUR BENUTZUNG BEIM UNTERRICHTE BEARBEITET

VON

A. LEDEBUR,

WEIL. GEHEIMEM BERGRAT UND PROFESSOR AN DER K. BERGAKADEMIE ZU FREIBERG IN SACHSEN.

FÜNFTE, NEU BEARBEITETE AUFLAGE.

ZWEITE ABTEILUNG:

DAS ROHEISEN UND SEINE DARSTELLUNG.

MIT ZAHLREICHEN ABBILDUNGEN, TEILWEISE ALS TAFELN GEDRUCKT.

LEIPZIG,

VERLAG VON ARTHUR FELIX.

1906.

Inhaltsverzeichnis.

Zweite Abteilung.

Das Roheisen und seine Darstellung.

Seite

I. Eigenschaften und Einteilung des Roheisens und der Eisenmangane . . . 3
1. Begriffserklärung. Einteilung 3
2. Die Eigenschaften des Roheisens 4
   a) Innere Anordnung 4. b) Spezifisches Gewicht 6. c) Schmelztemperatur 6. d) Härte 8. e) Die Festigkeitseigenschaften 9.
3. Das graue Roheisen und das Siliciumeisen 13
4. Das weifse Roheisen und das Eisenmangan 22
   Literatur 28

II. Der Hochofen 29
1. Geschichtliches 29
2. Die innere Form und die Abmessungen der Hochöfen 32
   Die verschiedenen Hochofenformen und ihr Einflufs auf den Hochofenschmelzgang 32. Der Rauminhalt der Hochöfen 41. Die inneren Abmessungen der Hochöfen 42.
3. Der Bau der Hochöfen 47
   Die Entwickelung des Hochofenbaues seit früheren Jahrhunderten bis zur Jetztzeit 47. Die Anordnung der einzelnen Teile des Hochofens 56. Die gekühlten Teile des Hochofens 62. Die Gichtbühne 69.
4. Die Vorrichtungen zur Entziehung, Reinigung, Fortleitung und Verbrennung der Gichtgase 71
   Allgemeines. Geschichtliches 71. Die Gasfänge 74. Die Leitungsrohre und Reinigungsvorrichtungen 86. Die Verbrennungsvorrichtungen und die Esse 94.
   Literatur 97

III. Die Erzeugung, Trocknung, Erhitzung und Fortleitung des Gebläsewindes 100
1. Die Gebläse 100
   Allgemeines 100. Die üblichsten Gebläseformen 103.
2. Die Regulatoren 109
3. Die Trocknung des Gebläsewindes 110
4. Die Winderhitzer 111
   Geschichtliches. Einteilung 111. Die eisernen Winderhitzer 113. Die steinernen Winderhitzer 117. Die Whitwell-Winderhitzer 120. Die Cowper-Winderhitzer 122. Die Verschlüsse der steinernen Winderhitzer 126.
5. Die Windleitung und Windverteilung 130
6. Spannungs- und Temperaturmessungen. Windberechnung . . 136
   Literatur 145

IV. Die Gichtaufzüge 147
   a) Erläuterungen 147. b) Gichtaufzüge mit Antrieb durch Seiltrommeln oder Seilscheiben 148. c) Wassertonnenaufzüge 154. d) Wasserdruckaufzüge 156. e) Luftdruckaufzüge 156.
   Literatur 158

Seite

V. Die Vorrichtungen zur Anfuhr und Lagerung der Schmelzstoffe . 159
Literatur 161

VI. Das Hochofenschmelzen 162
1. Die Arbeiten beim Hochofen 162
a) Das Austrocknen, Auswärmen und Anblasen 162. b) Die Arbeiten während des gewöhnlichen Betriebes 167. c) Arbeiten im Ofeninnern; Beseitigung von Gichtschwamm und Versetzungen 179. d) Das Dämpfen und Ausblasen der Hochöfen 181.
2. Der chemische und physikalische Verlauf des Hochofenschmelzens 182
a) Die allgemeinen Vorgänge im Hochofen 182. b) Die Veränderungen der festen Körper bei ihrem Niedergange im Hochofen 185. c) Die Veränderungen der Zusammensetzung der Gase bei ihrem Aufsteigen im Hochofen 192. d) Die Temperatur im Hochofen 203. e) Einflufs der Windpressung und Windmenge im Hochofen 204. f) Einflufs der Winderhitzung auf die Vorgänge im Hochofen 206. g) Gaargang und Rohgang 210.
3. Der Betrieb mit verschiedenen Brennstoffen 216
4. Der Betrieb auf verschiedene Roheisengattungen und die Berechnung der Beschickung 219
a) Allgemeines 219. b) Die Entstehungsbedingungen der wichtigsten Roheisengattungen 221. c) Die Berechnung der Beschickung 234.
5. Die Berechnung des Hochofenschmelzganges und die Wärmebilanz 251
6. Die Betriebsergebnisse 262
Literatur 272

VII. Die Nebenerzeugnisse des Hochofenbetriebes und ihre Verwendung 277
1. Die Gichtgase 277
2. Die Schlacken 278
3. Gichtschwamm 288
4. Blei 289
5. Gichtstaub 290
6. Zufällige Nebenerzeugnisse 292
Literatur 293

VIII. Das Umschmelzen und die Läuterung des Roheisens 294
1. Das Umschmelzen 294
A. Allgemeines 294. B. Das Schmelzen in Tiegeln 295. C. Das Schmelzen in Flammöfen 303. D. Das Schmelzen in Kupolöfen 308.
2. Die Läuterung des Roheisens und seine Verbesserung durch Mischen 327
A. Allgemeines 327. B. Die Ausscheidung des Siliciums und Mangans 328. C. Die Entphosphorung des Roheisens 330. D. Die Entschwefelung und das Mischen des Roheisens 332.
Literatur 337

Sachverzeichnis 339

ZWEITE ABTEILUNG.

DAS ROHEISEN

UND

SEINE DARSTELLUNG.

I. Eigenschaften und Einteilung des Roheisens und der Eisenmangane.

1. Begriffserklärung. Einteilung.

Roheisen heifst jedes noch nicht zu Gebrauchsgegenständen verarbeitete Eisen, welches wegen eines gröfseren Gehalts an Metalloiden, insbesondere an Kohlenstoff oder Silicium, die dem reinen Eisen eigentümliche Dehnbarkeit und Schmiedbarkeit verloren hat. Sind neben Kohlenstoff keine anderen Körper in erheblichen Mengen zugegen, so liegt die Grenze zwischen Roheisen und schmiedbarem Eisen bei einem Kohlenstoffgehalte von etwa 2,6 v. H. Andere Metalloide (Silicium, Phosphor, Schwefel, Arsen u. a. m.) beeinträchtigen die Schmiedbarkeit teils kräftiger, teils weniger kräftig als Kohlenstoff; in jedem Falle aber hört sie schon bei einem niedrigeren Kohlenstoffgehalte als 2,6 v. H. auf, wenn solche Körper neben dem Kohlenstoff im Eisen anwesend sind.

Mit Hilfe derselben Verfahren und Vorrichtungen, welche zur Darstellung des Roheisens im engeren Sinne bestimmt sind, stellt der Eisenhüttenmann für gewisse Zwecke des Eisenhüttenbetriebes auch kohlenstoffhaltige Legierungen zwischen Eisen und Mangan dar, welche bei geringerem Mangangehalte zwar dem Roheisen zugezählt, bei höherem Mangangehalte aber Eisenmangane oder Ferromangane genannt werden, und deren Mangangehalt nicht selten höher ist als ihr Eisengehalt; ferner kohlenstoffhaltiges Siliciumeisen[1]), welches seiner Zusammensetzung und seinen Eigenschaften gemäfs ebenfalls dem Roheisen im weiteren Sinne beigezählt werden mufs; ausnahmsweise auch wohl Legierungen mit Chrom und anderen Körpern.

Ist das Roheisen durch Eingiefsen in Formen zu Gebrauchsgegenständen (Gufswaren) verarbeitet, so wird es Gufseisen genannt. Die Bezeichnung ist allein durch die stattgehabte Verarbeitung bedingt, ohne dafs eine Änderung der chemischen Zusammensetzung oder der Eigenschaften damit verbunden zu sein braucht. Gufseisen, welches durch Abnutzung oder aus anderen Gründen unbrauchbar geworden ist, wird Brucheisen genannt; seiner chemischen Beschaffenheit gemäfs ist es Roheisen, und es findet die gleiche Verwendung wie das ursprüngliche Roheisen, sei

[1]) Im Handel gewöhnlich Ferrosilicium genannt. Der Ausdruck ist sprachlich unrichtig, da nicht das Silicium, sondern das Eisen den Hauptbestandteil bildet, welcher der Menge nach vorwiegt und zugleich dem Erzeugnisse seine metallische Eigenart verleiht.

es zur Herstellung von Gufswaren durch erneutes Umschmelzen und Giefsen, sei es als Stoff zur Darstellung schmiedbaren Eisens.

Die Einteilung des gesamten Roheisens kann von verschiedenen Gesichtspunkten aus geschehen.

Man kann graues Roheisen, welchem seiner Zusammensetzung gemäfs auch das Siliciumeisen beizuzählen ist, dem weifsen Roheisen nebst den Eisenmanganen gegenüberstellen. Nach der Art des für die Herstellung des verwendeten Brennstoffs, welcher besonders beim grauen Roheisen gewisse Verschiedenheiten hervorruft, läfst sich Holzkohlenroheisen und Koksroheisen (richtiger: Roheisen, welches mit mineralischen Brennstoffen erzeugt ist) unterscheiden. Endlich kann man auch nach der beabsichtigten Verwendung des Roheisens Giefsereiroheisen (zur Darstellung von Gufswaren bestimmt) und Frischereiroheisen sondern, obgleich der Unterschied nicht sehr scharf ist. Viele Roheisenarten lassen sich für beide Zwecke benutzen, für den einen freilich meistens besser als für den andern.

In folgendem soll von der zuerst erwähnten Einteilung ausgegangen werden. Eine ganz deutliche Grenze läfst sich jedoch auch zwischen grauem und weifsem Roheisen nicht ziehen. Überblickt man sämtliche unten näher gekennzeichnete Roheisenarten, so wird man finden, dafs sie eine Reihe bilden, als deren Endglieder das manganarme Siliciumeisen auf der einen Seite und das siliciumarme Eisenmangan auf der anderen Seite zu betrachten sind. Die Übergänge aber finden allmählich statt, nicht allein zwischen den einzelnen Gliedern der beiden Gruppen, sondern auch zwischen diesen selbst. Das kennzeichnende Merkmal des grauen Roheisens ist sein Graphitgehalt, dessen Entstehungsursachen auf S. 320 I besprochen wurden. Graphitreiches Roheisen besitzt vollständig graue Bruchfläche; sie wird heller, wenn der Graphitgehalt abnimmt, und schliefslich erblickt man nur einzelne Graphitblätter verstreut auf weifser Bruchfläche. Die Analyse aber weist bisweilen noch einen geringen Graphitgehalt nach, wo das Auge ihn nicht mehr zu erkennen vermochte. Andrerseits gewahrt man nicht selten deutliche Graphitausscheidung auf der Bruchfläche solchen Roheisens, welches als weifses Roheisen in den Handel gebracht wird, im wesentlichen auch die Eigenschaften und Merkmale des weifsen Roheisens besitzt, aber bei seiner Entstehung zufälligen Einwirkungen preisgegeben war, welche eine mäfsige Graphitbildung veranlafsten.

Auf die Unterschiede, welche aus der Verschiedenheit des für die Darstellung des Roheisens benutzten Brennstoffs sich ergeben oder durch die abweichende Bestimmung des Roheisens bedingt sind, soll bei Besprechung der Gattungen und Arten hingewiesen werden.

2. Die Eigenschaften des Roheisens.

a) Innere Anordnung.

Das Roheisen ist eine aus Eisen, Kohlenstoff und daneben gewöhnlich noch anderen Körpern bestehende Legierung und wie andere Legierungen beim Erstarren der Saigerung unterworfen

(S. 291 I). Während der Abkühlung des bereits erstarrten Metalls bis auf 700° C. oder noch etwas darunter aber vollziehen sich jene auf S. 336 I vom allgemeineren Standpunkte aus geschilderten Vorgänge eines Zerfalls der in höherer Temperatur gleichartigen Eisenkohlenstofflegierung, welche durch die metallographische Untersuchung erwiesen werden. Das erkaltete Roheisen besteht daher niemals aus einer einzigen gleichartigen Masse, sondern aus verschiedenen, nebeneinander abgelagerten Körpern von abweichenden Eigenschaften. Wird das Roheisen wieder bis zum Schmelzen erhitzt, so gehen jene Bestandteile in gegenseitige Lösung über, aus welcher sie beim abermaligen Erstarren sich aufs neue sondern. Die Art und Weise der Sonderung und die Zusammensetzung der gesonderten Teile hängt teils von der Zusammensetzung des Roheisens, teils, wie aus den früheren Mitteilungen sich ergibt, von den Erstarrungsverhältnissen ab. Ein und dasselbe Roheisen kann demnach verschiedene Eigenschaften besitzen, je nachdem es rascher oder langsamer abgekühlt wurde.

Weifses Roheisen besteht nach rascher Abkühlung aus Zementit und Martensit, der nach minder rascher Abkühlung in Troostit (S. 343 I) übergegangen ist. In jedem Falle ergibt die chemische Untersuchung einen reichlichen Gehalt von Härtungskohle neben Karbidkohle (Beispiel 3 bis 5 auf S. 332 I). War die Abkühlung dagegen sehr langsam, so kann statt des Martensits Perlit erscheinen (Abb. 93 auf S. 340 I).

Beispiele des Kleingefüges grauen Roheisens nach langsamer Abkühlung sind auf S. 344 I in Abb. 100 und 101 gegeben. Graphitarmes Eisen enthält aufser Graphit Zementit und Perlit, graphitreiches Ferrit und Perlit; rasche Abkühlung aber erschwert die Ausscheidung von Graphit und die Bildung von Perlit; neben Zementit erscheint, wie im weifsen Roheisen, Martensit oder Troostit, und die chemische Untersuchung ergibt einen Gehalt an Härtungskohle (Beispiel 6 auf S. 332 I).

Im phosphorhaltigen Roheisen bemerkt man bei mikroskopischer Untersuchung der geätzten und durch Anlassen gefärbten Schlifffläche einzelne unregelmäfsig gestaltete harte Stellen, aus eutektischem Eisenphosphit bestehend [1]).

Aufser diesen, das Wesen des Roheisens bedingenden Bestandteilen finden sich zufällig entstandene Saigerungserzeugnisse in den meisten Roheisenarten. Sie treten auf in Form von Kügelchen oder Nieren in Hohlräumen, welche beim Erstarren sich gebildet hatten, und in welche jene Ausscheidungen eingetreten waren; oder auf der Oberfläche als Blattern oder Wanzen (S. 362 I); oder in noch anderen Formen. Die meisten dieser Aussaigerungen sind schwefel- oder phosphorreicher als das Muttereisen, dem sie entstammen; auch ihr Mangangehalt ist nicht selten beträchtlicher [2]).

---

[1]) Abbildungen solcher Proben: v. Jüptner, Siderologie, 3. Teil, Tafel VIII und IX.

[2]) Analysen einzelner solcher Ausscheidungen sind bereits auf S. 362 I mitgeteilt; vergleiche ferner Ledebur, Handbuch der Eisen- und Stahlgiefserei, 3. Auflage, Leipzig 1901, S. 34, 36; Ledebur, Das Roheisen, 4 Auflage, Leipzig 1904, S. 13, und die unten gegebenen Literaturnachweise.

Der Umstand, dafs die Geschwindigkeit der Abkühlung des flüssigen Roheisens sowohl auf die Entstehung der nebeneinander sich ablagernden Körper von Einflufs ist, welche zusammen das erkaltete Roheisen bilden, als auch auf den Vorgang der Saigerung im allgemeinen, erklärt es, dafs dickere Roheisenstücke in der Mitte, wo die Abkühlung langsamer vonstatten ging, oft eine wesentlich andere Zusammensetzung zeigen, als am Rande. Bei grauem Roheisen nimmt der Graphitgehalt nach der Mitte hin zu, und in besonders deutlicher Weise zeigt sich der Unterschied beim Hartgufs (S. 325 I); der Gesamtkohlenstoff dagegen pflegt in der Mitte geringer als am Rande zu sein. Nicht selten ist der Unterschied in dem Gesamtkohlenstoffgehalte recht erheblich. So z. B. enthielt eine von mir untersuchte Massel tiefgrauen Roheisens aus Bilbao

	Gesamtkohlenstoff	Silicium	Mangan	Phosphor	Schwefel
Am Rande .	3,97	3,65	1,58	0,02	0,08
In der Mitte .	3,41	3,68	1,82	0,01	0,02

und gleich grofse Unterschiede zeigen die bereits auf S. 325 I mitgeteilten Beispiele des abweichenden Graphitgehalts im Gufseisen an verschiedenen Stellen desselben Gegenstandes.

In den erwähnten Fällen läfst nur der Kohlenstoffgehalt deutliche Abweichungen erkennen; mitunter lassen sich jedoch auch in dem Gehalte an den übrigen Bestandteilen Unterschiede wahrnehmen. Phosphorreiches Roheisen (Thomasrohreisen) besitzt häufig am Rande einen höheren Phosphorgehalt als in der Mitte[1]); auch der Mangan- und Siliciumgehalt ist nicht immer gleich.

Der Umstand verdient besonders bei Entnahme von Proben für Untersuchung des Roheisens oder von Gufswaren Beachtung.

b) Spezifisches Gewicht.

Bei der Graphitbildung dehnt sich das Roheisen aus — daher ist graues Roheisen durchschnittlich leichter als weifses —, und mit zunehmendem Graphitgehalte nimmt sein spezifisches Gewicht ab. Während sehr graphitreiches Roheisen oft kein gröfseres spezifisches Gewicht als 7,0 besitzt, steigt dieses beim graphitärmeren, aber noch deutlich grauen Roheisen auf etwa 7,2 und beim weifsen Roheisen auf 7,6.

c) Schmelztemperatur.

Wenn der Gehalt des Roheisens an Fremdkörpern zunimmt, sinkt im allgemeinen dessen Schmelztemperatur. Der Einflufs einzelner dieser Körper, des Kohlenstoffs, Siliciums, Phosphors u. a., auf die Schmelztemperatur wurde schon in der ersten Abteilung der Eisenhüttenkunde besprochen. Unter den verschiedenen Kohlenstoffformen aber vermögen nur die Härtungskohle und Karbidkohle die Schmelztemperatur zu erniedrigen; erstere ist bereits im erkalteten Eisen gelöst, letztere geht während des Erwärmens, bei

---

[1]) Beispiele: „Stahl und Eisen“ 1888, S. 22.

etwa 700° C., also weit unterhalb der Schmelztemperatur, in Lösung. Graphit dagegen wird erst wieder gelöst, wenn das Eisen selbst, aus dem er ausgeschieden war, zu schmelzen beginnt. Je mehr Graphit aber beim vorausgegangenen Erstarren gebildet worden war, desto kohlenstoffärmer ist das neben dem Graphit zurückgebliebene Eisen, desto höher liegt seine Schmelztemperatur. Aus diesem Grunde besitzt graues Roheisen durchschnittlich eine höhere Schmelztemperatur als weifses. Schon früher fand Pouillet[1]) als Schmelztemperatur des Weifseisens 1050 bis 1100°, des Graueisens 1100 bis 1200°; neuere Untersuchungen mit Hilfe des Le Chatelier-Pyrometers bestätigten im wesentlichen diese Beobachtungen, z. B.

	C	Si	Mn	P	
Weifseisen mit	4,10	0,22	0,12	0,02,	Schmelztemperatur nach Osmond[2]) . . . . = 1085° C.,
Weifseisen mit	3,85	0,29	0,15	0,02,	Schmelztemperatur nach Royston[3]) . . . . = 1065° C.,

Weifseisen, Zusammensetzung nicht angegeben, Schmelztemperatur nach Le Chatelier[4]) . . . . = 1135° C.,

Graueisen, Zusammensetzung nicht angegeben, Schmelztemperatur nach Le Chatelier[4]) . . . . = 1220° C.,

Siliciumeisen mit 10 v. H. Silicium, 2,38 v. H. Kohlenstoff, Schmelztemperatur nach Osmond[5]). . . . = 1130° C.,

Im Mittel kann man demnach die Schmelztemperatur des Weifseisens zu 1100° C., des Graueisens zu 1200° C. annehmen; aber die besondere chemische Zusammensetzung ist in jedem einzelnen Falle mafsgebend. Ein Vergleich der Versuchsergebnisse Osmonds und Roystons bestätigt die schon auf S. 345 I angedeutete Beobachtung, dafs bei Zunahme des Kohlenstoffgehalts, ehe der Sättigungsgrad des Eisens für Kohlenstoff vollständig erreicht ist, eine Grenze eintritt, wo die Schmelztemperatur nicht mehr ab-, sondern zunimmt; wie es scheint, liegt diese Grenze bei etwa 3,5 v. H. Kohlenstoff oder noch etwas darunter. Ein Siliciumgehalt erniedrigt die Schmelztemperatur, aber der Einflufs ist nicht sehr erheblich[6]); auch ein Mangangehalt von weniger als 10 v. H. wirkt den Beobachtungen im Betriebe zufolge eher erniedrigend als erhöhend auf die Schmelztemperatur, und nach den auf S. 364 I mitgeteilten Versuchsergebnissen wird sie selbst durch einen Mangangehalt von 20 v. H. noch nicht erheblich gesteigert. Erst bei fernerer Zunahme des Mangangehalts wird eine Steigerung der Schmelztemperatur bemerkbar; aber ein kohlenstoffhaltiges Eisenmangan mit 50 v. H. Mangan bedarf zum Schmelzen immerhin noch

---

[1]) Comptes rendus, Band 3, S. 789.

[2]) F. Osmond, Transformations du fer et du carbone, Paris 1888, S. 24 und 28.

[3]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1897 I, S. 167; „Stahl und Eisen“ 1897, S. 629.

[4]) Comptes rendus, Band 140, S. 471.

[5]) „Stahl und Eisen“ 1891, S. 637.

[6]) Eine Legierung mit 4,2 v. H. Silicium, 0,25 v. H. Kohlenstoff, 0,36 v. H. Mangan war bei 1400° C. noch nicht geschmolzen. „Stahl und Eisen“ 1891 S. 637.

einer weniger hohen Temperatur (1154° C. nach Osmond) als graues graphitreiches Roheisen.

Da die Graphitbildung mittelbar eine Erhöhung der Schmelztemperatur veranlafst, indem sie den Gehalt an gelöst bleibendem Kohlenstoff schmälert, das Mafs dieser Graphitbildung aber nicht allein von der chemischen Zusammensetzung des Roheisens, sondern auch von den Abkühlungsverhältnissen abhängt, folgt, dafs das nämliche Roheisen auch verschiedene Schmelztemperaturen besitzen kann, je nachdem es rascher oder langsamer abgekühlt wurde. Rasch abgekühltes und dadurch graphitärmer gewordenes Roheisen schmilzt leichter ein als langsam abgekühltes, graphitreicheres[1]).

Bei der Verwendung des Roheisens für die Giefserei spielt auch der Flüssigkeitsgrad im geschmolzenen Zustande — die Dünnflüssigkeit — eine Rolle. Silicium, Mangan und vor allem Phosphor machen das Roheisen dünnflüssig; Schwefel erzeugt schon in kleinen Mengen einen dickflüssigen Zustand[2]).

d) Härte.

Von den auf S. 336 bis 345 I besprochenen Gefügebestandteilen des Roheisens ist der Graphit weich, mürbe; der Ferrit, das kohlenstofffreie körnige Eisen, verhältnismäfsig weich; der Zementit, d. h. das Karbid Fe_3C, am härtesten (Feldspathärte); der Perlit (das Gemenge von Ferrit und Zementit) härter als Ferrit, aber weniger hart als Zementit; der Martensit (Eisen mit Härtungskohle) um so härter, je höher sein Kohlenstoffgehalt ist, und jedenfalls härter als Ferrit.

Im graphitreichen grauen Roheisen treten neben dem Graphit vorwiegend Ferrit und Perlit auf; im weifsen Roheisen verschwinden beide Bestandteile ganz oder fast ganz, und die härteren Bestandteile treten an ihre Stelle.

Daher ist graues Roheisen verhältnismäfsig weich und läfst sich mit schneidenden Werkzeugen — Feile, Meisel, Dreh- oder Hobelstahl — ohne Schwierigkeit bearbeiten. Je mehr sein Graphitgehalt abnimmt, desto härter wird es; weifses Roheisen wird, sofern sein Gesamtkohlenstoffgehalt nicht über 3 v. H. beträgt, noch durch sehr harten Stahl angegriffen, widersteht aber vollständig bei höherem Kohlenstoffgehalte, welcher die Entstehung eines reichen Gehalts von Zementit und kohlenstoffreichen Martensit veranlafst.

---

[1]) Dieser aus Beobachtungen im Betriebe längst bekannte Einflufs der vorausgegangenen Abkühlung auf die Schmelztemperatur des Roheisens wurde durch Versuche Wests in anschaulicher Weise nachgewiesen. Er gofs Stäbe zur einen Hälfte in eisernen Formen, welche rasche Abkühlungen bewirkten, zur anderen Hälfte in Sandformen, also mit langsamer Abkühlung. Beim Einbringen in geschmolzenes und überhitztes Roheisen schmolz der rasch abgekühlte Teil regelmäfsig früher weg als der langsam abgekühlte (The Iron Trade Review, Band 30 S. 30; „Stahl und Eisen“ 1898, S. 214). Vergl. auch „Stahl und Eisen“ 1899, S. 18.

[2]) Versuche über den Einflufs des Schwefels: „Stahl und Eisen“ 1886, S. 311, Spalte 2; von Kerpely, Ungarns Eisensteine und Eisenhüttenerzeugnisse, S. 65. Auch die Beobachtung im Giefsereibetriebe läfst nicht selten diesen Einflufs erkennen.

Rasche Abkühlung erhöht, zumal beim grauen Roheisen, den Härtegrad. Gufsstücke mit dünnen Querschnitten sind deshalb härter als solche mit dicken aus demselben Eisen; ein und derselbe Abgufs kann an verschiedenen Stellen abweichenden Härtegrad besitzen, wenn die Querschnittsabmessungen verschieden sind. Besondere Anwendung von der Härtesteigerung durch rasche Abkühlung macht man bei der Hartgufsdarstellung; durch Anwendung eiserner Gufsformen verhindert man hier die Graphitbildung (S. 325 I). Ausglühen, wobei aus der Karbid- und Härtungskohle Temperkohle entsteht (S. 329 I), verringert die Härte. Selbst Weifseisen läfst sich durch dieses Mittel in einen bearbeitungsfähigen Zustand versetzen.

Mangan und Chrom erhöhen die Härte des Roheisens, teils unmittelbar, teils durch Verhinderung der Graphitbildung. Silicium vermag nur bei sehr reichlichem Gehalte eine merkbare Härtesteigerung hervorzurufen; in den geringeren Mengen, welche im gewöhnlichen Graueisen auftreten, hat seine Anwesenheit den entgegengesetzten Erfolg, indem der Kohlenstoffgehalt dadurch zur Graphitbildung veranlafst wird.

Phosphor in den Gewichtsmengen, welche im Roheisen vorkommen, ist ohne erheblichen Einflufs[1]). Ebenso Schwefel.

e) Die Festigkeitseigenschaften.

Als Festigkeitseigenschaften kommen teils die eigentliche Festigkeit, d. h. die Widerstandsfähigkeit gegenüber ruhiger Belastung (Zug, Druck usw.), teils die Widerstandsfähigkeit gegen Stöfse und Erschütterungen in Betracht, welche letztere man Zähigkeit — im Gegensatze zur Sprödigkeit — zu nennen pflegt. Erstere wird durch den unmittelbaren Versuch ermittelt; als Mafsstab für die Zähigkeit benutzt man entweder die bei der Prüfung auf Festigkeit eintretenden Formveränderungen[2]) oder unmittelbare Schlagversuche.

In jedem Falle ist diese Zähigkeit beim Roheisen unbedeutend; es ist ein spröder Körper. Dennoch lassen sich Unterschiede bei verschiedenen Arten wahrnehmen, und dieser Umstand verdient Beachtung bei der Benutzung des Roheisens für Gufswarenerzeugung.

Sonstige Festigkeitseigenschaften: Elastizitätsmodul, Elastizitätsgrenze u. a. können hier, da sie beim Roheisen geringere Bedeutung besitzen und geringeren Schwankungen unterliegen als beim schmiedbaren Eisen, aufser Betracht bleiben[3]).

---

[1]) Dafs nach Steads Versuchen reines Eisen durch Aufnahme von Phosphor eine erhebliche Härtesteigerung erfahre, wurde auf S. 354 I erwähnt. Während dieses mit einem Phosphorgehalte von 1,78 v. H. sich als sehr hart erwies, läfst sich graues Roheisen mit dem nämlichen Phosphorgehalte ohne Schwierigkeit feilen.

[2]) Je stärker die vor dem Bruche eintretende Formveränderung ist, desto mehr mechanische Arbeit wird dabei verbraucht, desto geringer ist die Gefahr für den Bruch.

[3]) Einiges Nähere hierüber enthalten die von mir bearbeiteten Werke: Eisen und Stahl in ihrer Anwendung für bauliche und gewerbliche Zwecke, Berlin 1890,

Da die Festigkeitseigenschaften des Roheisens nur bei dessen Verwendung zur Gufswarenerzeugung eine Rolle spielen, und hierbei nur graues Roheisen in Betracht kommt, ist in den folgenden Darlegungen vorwiegend auf dieses Bezug genommen.

Die Festigkeitseigenschaften sind teils von der chemischen Zusammensetzung, teils von der Beschaffenheit des Gefüges abhängig.

Ein geringer Gehalt an Härtungskohle erhöht nach früherem die Festigkeit, ein gröfserer Gehalt verringert sie, und in starkem Mafse wird die Sprödigkeit durch einen gröfseren Gehalt an Härtungskohle gesteigert. Daher ist graues Roheisen durchschnittlich fester und weniger spröde als weifses; der Unterschied würde noch beträchtlicher sein, wenn nicht der Graphitgehalt des grauen Roheisens, indem er den Zusammenhang der Eisenmasse unterbricht, die Festigkeit und Zähigkeit abminderte. Sehr graphitreiches Roheisen ist daher niemals sehr fest. Gufseisensorten, welche sich durch ein günstiges Verhalten bei der Beanspruchung auf Festigkeit und Stofsfestigkeit auszeichnen, pflegen nicht mehr als 3 v. H. Graphit bei 3,5 v. H. Gesamtkohlenstoff und nicht weniger als 2 v. H. Graphit bei 2,6 v. H. Gesamtkohlenstoff zu enthalten, so dafs ihr Gehalt an Härtungs- und Karbidkohle zusammen 0,4 bis 0,7 v. H. beträgt.

Ein mäfsiger Siliciumgehalt ist notwendig, um Graphitbildung zu veranlassen; ein sehr hoher Siliciumgehalt wirkt um so nachteiliger auf die Festigkeit und Zähigkeit ein, je mehr Kohlenstoff neben dem Silicium zugegen ist. Ein durch Festigkeit und ein geringes Mafs von Sprödigkeit ausgezeichnetes Gufseisen pflegt nicht mehr als 3 und nicht weniger als 1 v. H. Silicium zu enthalten. Je niedriger der Kohlenstoffgehalt ist, und je dünner die Querschnitte eines zu giefsenden Gegenstandes sind, desto höher mufs der Siliciumgehalt sein, damit der Abgufs ausreichende Festigkeit erhalte.

Mangan in kleineren Mengen als 1,5 v. H. vermag zwar die Festigkeit etwas zu erhöhen, aber auf Kosten der Zähigkeit; ein höherer Mangangehalt wirkt auf beide Eigenschaften nachteilig.

Phosphor verringert, sofern sein Gehalt ein ziemlich niedriges Mafs überschreitet, merklich die Festigkeit und in weit stärkerem Mafse die Zähigkeit. Das Eisen wird spröde. Je mehr Härtungskohle das Eisen enthält, desto stärker ist das Mafs dieses Einflusses; in graphitreicherem Eisen tritt daher der Einflufs weniger deutlich als in graphitärmeren zutage. Auch ein Mangangehalt erhöht den Einflufs des Phosphors. Graues Roheisen aber, welches zur Gufswarendarstellung bestimmt ist, kann nur einen ziemlich geringen Gehalt an Härtungskohle besitzen (Beispiel 1 und 2 auf S. 332 I); aufserdem darf man überhaupt an das Verhalten des Gufseisens bei der Beanspruchung auf Festigkeit und insbesondere auf Widerstandsfähigkeit gegen Erschütterungen bei weitem nicht jene Ansprüche stellen, wie an das Verhalten des schmiedbaren

---

S. 23; Das Roheisen, 4. Auflage, Leipzig 1904, S. 54; Handbuch der Eisen- und Stahlgiefserei, 3. Auflage, Leipzig 1901, sowie die unter Litteratur genannten Schriften.

Eisens. Hierdurch erklärt es sich zum grofsen Teil, dafs Gufseisen erheblich mehr Phosphor als letzteres enthalten kann, ohne unbrauchbar zu werden. Man findet Gufseisensorten mit einem Phosphorgehalte von 1,5 v. H. oder noch etwas darüber; sie sind zwar spröder als phosphorärmeres Gufseisen, lassen sich aber, zumal wenn sie arm an Mangan sind, für manche Zwecke, wo jene gröfsere Sprödigkeit weniger von Belang ist, ohne Nachteil benutzen. Soll das Gufseisen dagegen baulichen Zwecken dienen, wobei grofse Sprödigkeit gefahrbringend sein würde, so pflegt man 1 v. H. Phosphor als den höchsten zulässigen Gehalt zu betrachten, und bei übrigens gleicher Zusammensetzung besitzt das Gufseisen im allgemeinen um so gröfsere Festigkeit und insbesondere Widerstandsfähigkeit gegen Erschütterungen, je niedriger sein Phosphorgehalt ist. Giefsereiroheisen, welches wegen eines Phosphorgehalts von nicht über 0,1 v. H. sich besonders gut für Herstellung von Gegenständen eignet, die sich durch hohe Festigkeit auszeichnen, kommt unter dem Namen Hämatitroheisen in den Handel. Man hat ihm den Namen gegeben, weil es ursprünglich nur aus Hämatiten, phosphorreinen Roteisenerzen, erblasen wurde.

Alle übrigen zufälligen Begleiter des Eisens — Schwefel, Arsen, Antimon, Kupfer, Titan u. a. m. — können zwar in geringen Mengen mitunter die Festigkeit bei ruhiger Belastung etwas steigern, erhöhen aber auch stets die Sprödigkeit; wenn auch der Gehalt jedes einzelnen dieser Körper nur unbedeutend ist, so vermögen sie doch durch ihr Zusammenwirken, wenn ihre Zahl entsprechend grofs ist, nicht selten eine deutliche Einwirkung hervorzubringen. Man schätzt deshalb das von solchen Begleitern reinste Roheisen als das vorzüglichste bei der Beanspruchung auf Festigkeit, und das Übergewicht, welches das mit Holzkohlen erblasene Roheisen für die in Rede stehenden Verwendungen vor dem mit mineralischen Kohlen erblasenen besitzt, sofern die sonstige Zusammensetzung, insbesondere der Gehalt an Kohlenstoff, Silicium, Mangan und Phosphor, nicht sehr verschieden ist, findet hierdurch seine Erklärung. Holzkohlenroheisen erfolgt in niedrigerer Temperatur, in welcher weniger Gelegenheit zur Aufnahme jener Fremdkörper gegeben ist.

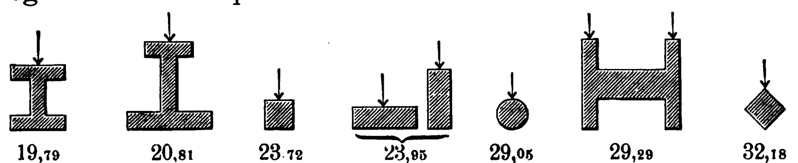
Die Beschaffenheit des Gefüges des Roheisens (Gufseisens) ist zwar teils durch die chemische Zusammensetzung, zum grofsen Teile aber auch durch die Abkühlungsverhältnisse bedingt. Langsame Abkühlung begünstigt die Entstehung eines grobkörnigen, rasche Abkühlung die Entstehung eines feinkörnigen Gefüges. Je grobkörniger aber das Metall ist, d. h. je gröfser die Absonderungsflächen des Gefüges sind, desto leichter findet Trennung statt. Gufseisen mit feinkörnigem Gefüge verhält sich deshalb bei der Beanspruchung auf Festigkeit im allgemeinen günstiger als solches mit grobkörnigem Gefüge. Wird aber durch rasche Abkühlung die Graphitbildung unter jenes Mafs abgemindert, welches für das günstige Verhalten des Gufseisens erforderlich ist, so erleiden sowohl die Festigkeit als die Zähigkeit Einbufse. Daher verhalten sich Eisensorten, welche wegen eines hohen Gehalts an Silicium und Kohlenstoff zur starken Graphitbildung neigen, ungünstiger,

wenn sie langsam als wenn sie rasch abgekühlt wurden. Gufsstücke von beträchtlichen Abmessungen aus derartigem Eisen zeigen geringe Festigkeit, da die Abkühlung langsam vonstatten ging. Umgekehrt wird siliciumarmes Eisen, welches wegen seines niedrigen Siliciumgehaltes nur geringe Neigung zur Graphitbildung besitzt, bei allzu rascher Abkühlung leicht spröde und verliert an Festigkeit; sein Gehalt an Härtungskohle fällt zu beträchtlich aus. Hier kann eine künstlich verlangsamte Abkühlung oder auch ein späteres Ausglühen zur Verbesserung der Eigenschaften beitragen. Will man daher durch Prüfung von Probestäben Aufschlufs über die Festigkeitseigenschaften eines aus demselben Eisen gegossenen Gegenstandes erhalten, so ist es erforderlich, dafs die Stärkeabmessungen der Stäbe denen des Abgusses möglichst ähnlich seien. Wie erheblich der Unterschied bei langsamer und rascher Abkühlung sein kann, zeigen u. a. folgende von Jüngst mitgeteilte, bei der Prüfung auf Biegungsfestigkeit von Stäben aus demselben Gufseisen erlangte Ergebnisse[1]):

Rundstäbe	von	51	mm	Durchmesser	Bruchbelastung	23,1	kg	auf	1	qmm
"	"	30	"	"	"	35,2	"	"	"	"
"	"	20	"	"	"	40,1	"	"	"	"
"	"	10	"	"	"	47,5	"	"	"	"
"	"	5	"	"	"	61,2	"	"	"	"

Die geprüften Stübe enthielten 3,31 v. H. Gesamtkohlenstoff, 1,93 v. H. Silicium, 0,60 v. H. Mangan, 0,76 v. H. Phosphor, 0,071 v. H. Schwefel. Der Siliciumgehalt ist hoch genug, um auch in dünnen Querschnitten ausreichende Graphitbildung zu veranlassen.

Im übrigen bedingen verschiedene Nebenumstände den Ausfall der Ergebnisse bei der Festigkeitsprüfung von Gufseisenstäben. Hierher gehören insbesondere die Länge und Form der Probestäbe. Längere Stäbe, auf Druckfestigkeit geprüft, besitzen ein niedrigeres Mafs dieser Eigenschaft als kürzere; bei der Prüfung auf Biegungsfestigkeit aber können Unterschiede in der Querschnittsform des Probestücks erhebliche Abweichungen der Festigkeitsziffern bedingen. So z. B. fand Bach, welcher zuerst auf die Tatsache aufmerksam machte[2]), bei der Prüfung von Stäben aus demselben Gufseisen, aber mit verschiedenen Querschnitten nachstehende Ziffern der Biegungsfestigkeit (Bruchspannung) in Kilogrammen auf 1 qmm:



Gleiche Beobachtungen machten später andere Forscher[3]).

---

1) „Stahl und Eisen“ 1905 S. 423. Über gleiche, durch Reusch ausgeführte Versuche vergl. „Stahl und Eisen“ 1903, S. 1185; über Versuche von Leyde: „Stahl und Eisen“ 1904, S. 94.

2) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1888, S. 198.

3) Vergleiche z. B. die in Fufsmerkung 1) genannten Abhandlungen von Jüngst, Reusch und Leyde.

Bearbeitete Abgüsse, deren spröde Kruste durch Befeilen, Drehen, Hobeln, Fräsen entfernt ist, besitzen eine um etwa 10 v. H. gröfsere Festigkeit (auf die Flächeneinheit des Querschnitts bezogen) als unbearbeitete[1]).

Als geringste zulässige Biegungsfestigkeit unbearbeiteter Rundstäbe von 20 mm Durchmesser bei 400 mm freier Auflage gilt nach den Vereinbarungen des Vereins deutscher Eisengiefsereien 30 kg auf 1 qmm[2]); Gufseisen von vorzüglicher Zusammensetzung kann die doppelte Festigkeit besitzen. Inwiefern durch Gröfse und Form des Querschnitts die Festigkeit beeinflufst wird, ergibt sich aus den mitgeteilten Ziffern.

Als mittlere Druckfestigkeit grauen Gufseisens kann man 70 kg auf 1 qmm annehmen; doch schwanken die verschiedenen Versuchsergebnisse zwischen 30 bis 175 kg; die mittlere Zugfestigkeit unbearbeiteter Probestücke beträgt etwa 12 kg auf 1 qmm, während sie unter günstigen Verhältnissen auf das Dreifache steigen kann.

Gering ist, wie erwähnt, in jedem Falle die Formveränderung, welche die beanspruchten Proben vor dem Bruche erleiden, und welche in gewissem Sinne als Mafsstab für die Zähigkeit dienen kann. Bei der Beanspruchung durch Druck hat man Verkürzungen der Probestücke von 0,5 bis 16 v. H. der ursprünglichen Höhe, bei Zugversuchen Veränderungen von 0,16 bis 0,45 v. H. der ursprünglichen Länge beobachtet, wobei jedoch auch das ursprüngliche Mafs der betreffenden Abmessungen von Einflufs ist. Je beträchtlicher dieses ist, desto niedriger fallen jene Verhältnisziffern aus. Am deutlichsten zeigt sich eine Formveränderung bei Biegungsversuchen, sofern die Probestücke nicht allzu kurz sind. Runde unbearbeitete Stäbe von 20 mm Durchmesser, 400 mm frei aufliegend und in der Mitte belastet, müssen vor dem Bruche eine gesamte Einbiegung von 4 bis 6 mm ertragen können; sehr sprödes Gufseisen erträgt geringere, zähes stärkere Einbiegungen.

Ziemlich grofse Abweichungen zeigt auch das Verhalten des weifsen Roheisens bei der Beanspruchung auf Festigkeit; durchschnittlich aber ist, wie schon erläutert wurde, seine Festigkeit geringer und seine Sprödigkeit bedeutend gröfser als die des grauen Roheisens.

3. Das graue Roheisen und das Siliciumeisen.

Allgemeine Zusammensetzung.

Alles unmittelbar aus Erzen gewonnene graue Roheisen enthält, wie oben erläutert wurde, als wesentliche Bestandteile Eisen, Kohlenstoff und Silicium[3]). Ein Siliciumgehalt ist notwendig, weil

---

1) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1889 S. 141; „Stahl und Eisen“ 1890 S. 603.

2) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1905, S. 407; „Stahl und Eisen“ 1905 S. 415.

3) Der Ausdruck „unmittelbar aus Erzen gewonnen“ ist hier gewählt worden, weil sich durch Zusatz von Aluminium zu weifsem Roheisen ebenfalls graues Roheisen erzeugen läfst, wie aus früherem sich ergibt. Das zugesetzte Aluminium vertritt in diesem Falle das Silicium (S. 321 I).

ohne diesen keine Bildung von Graphit, dieses das Wesen des grauen Roheisens bedingenden Körpers, stattfindet; entzieht man dem grauen Roheisen seinen Siliciumgehalt (z. B. durch Schmelzen unter solchen Einflüssen, dafs das Silicium, nicht aber der Kohlenstoff verbrannt wird), so verwandelt es sich in weifses Roheisen. Der Vorgang (Feinen des Roheisens) findet mitunter Anwendung im Betriebe und ist am Schlusse dieser Abteilung der Eisenhüttenkunde ausführlicher besprochen.

Der Siliciumgehalt des eigentlichen grauen Roheisens kann von 0,5 bis 5 v. H. schwanken und steigt im Siliciumeisen, welches im Hochofen erzeugt wurde, bis auf mehr als 16 v. H., während man im elektrischen Ofen Siliciumeisen mit mehr als 50 v. H. Silicium darstellt. Je weniger Mangan und je mehr Kohlenstoff neben dem Silicium zugegen ist, desto niedriger braucht der zur Graphitbildung erforderliche Siliciumgehalt zu sein. Eisen mit 3 v. H. Kohlenstoff neben 0,5 v. H. Silicium ist weifs, sofern es nicht etwa sehr langsam abgekühlt wurde; bei 4 v. H. Kohle neben dem gleichen Siliciumgehalte wie in jenem Falle wird, wenn nicht etwa Mangan in reichlicheren Mengen zugegen ist, gewöhnlich schon Graphitbildung bemerkbar, und der Graphitgehalt nimmt mit dem Siliciumgehalte zu. Deshalb kann das Roheisen bei nur 3 v. H. und selbst noch weniger Kohlenstoff schon Graphitbildung zeigen, wenn daneben 2 v. H. oder mehr Silicium anwesend ist.

Mangan erschwert die Graphitbildung und kann schon aus diesem Grunde nicht in sehr erheblichen Mengen anwesend sein[1]). Da ein reichlicher Mangangehalt des grauen Roheisens dessen Brauchbarkeit für Gufswarendarstellung verringert, indem er die Sprödigkeit erhöht, Neigung zur Gasentwicklung hervorruft, auch die Schwindung der Abgüsse beim Erkalten vergröfsert, sucht man für Erzeugung von Giefsereiroheisen Erze zu verwenden, deren Mangangehalt nicht beträchtlich ist. Gutes Giefsereirohreisen enthält nicht über 1,5 v. H. Mangan, gewöhnlich weniger. Im Frischereiroheisen dagegen (insbesondere im Bessemerroheisen) findet man bisweilen bis 5 v. H. Mangan, neben mindestens 2,5 v. H. Silicium; häufiger allerdings verarbeitet man die Erze, welche einen so hohen Mangangehalt in das Eisen führen, auf weifses Roheisen.

Der Phosphorgehalt des grauen Roheisens hängt von dem der benutzten Erze ab; sehr phosphorreiche Erze jedoch verhüttet man in der Regel nicht auf Graueisen, sondern auf Weifseisen, weil phosphorreiches Graueisen weniger gut als phosphorreiches Weifseisen Verwendung findet. Lothringer und Luxemburger, aus Minetten erblasenes Giefsereiroheisen enthält bis 1,8 v. H. Phosphor, englisches Giefsereiroheisen aus Middlesborough etwa 1,5 v. H., schottisches 0,7 bis 1,0 v. H.; je höher der Phosphorgehalt ist, desto niedriger mufs der Mangangehalt sein, damit das Roheisen für Gufswarenerzeugung brauchbar sei. Graues Frischereiroheisen

---

[1]) Versuche über den Einflufs des Mangangehalts auf die Graphitbildung bei gleichem Silicium- und Kohlenstoffgehalte: „Stahl und Eisen“ 1905, S. 223 (Wüst).

für das Bessemerverfahren darf nicht mehr als etwa 0,1 v. H. Phosphor enthalten.

Schwefel findet sich durchschnittlich in gröfseren Mengen im grauen Holzkohlenroheisen als im grauen Koksroheisen. Diese im ersten Augenblick auffällige Erscheinung erhält ihre Erklärung durch den Umstand, dafs man bei Erzeugung des Koksroheisens in Rücksicht auf den Schwefelgehalt der Koks gezwungen und durch die in den Kokshochöfen herrschende höhere Temperatur auch befähigt ist, stärker basische, insbesondere kalkreichere Schlacken zu bilden, als beim Hohlzkohlenbetriebe, wo die hohe Schmelztemperatur dieser Schlacken ihre Anwendung unmöglich machen würde. Die kalkreicheren Schlacken aber nehmen den weit gröfseren Schwefelgehalt der Beschickung der Kokshochöfen vollständiger auf als die kalkärmeren den geringeren Schwefelgehalt in den Holzkohlenöfen (vergl. S. 358 I). Selten steigt daher beim grauen Koksroheisen der Schwefelgehalt über 0,04 v. H.; im Holzkohlenroheisen findet man bisweilen 0,1 v. H. oder noch etwas darüber. Die früher (S. 317 I und 323 I) geschilderten Einflüsse des Schwefels auf die Kohlenstoffaufnahme und Graphitbildung erschweren indes mit zunehmendem Schwefelgehalte die Entstehung von Graueisen immer mehr; statt des Graueisens entsteht Weifseisen, wenn der Schwefelgehalt erheblich über jenes Mafs steigt.

Der Gehalt des grauen Roheisens an Kupfer, Nickel, Kobalt, Arsen, Antimon hängt von dem Gehalte der Erze an diesen Körpern ab und bewegt sich innerhalb der schon früher angegebenen Grenzen.

Dafs manche schwer reduzierbare Körper (Chrom, Titan, Vanadin) leichter bei dem Betriebe mit Koks als mit Holzkohlen aufgenommen werden, dafs Holzkohlenroheisen aus diesem Grunde durchschnittlich reiner von Fremdkörpern und für gewisse Zwecke vortrefflicher sei, wurde schon oben erwähnt.

Da der gröfsere Siliciumgehalt des grauen Roheisens in chemischer Beziehung dessen Unterscheidungsmerkmal vom weifsen Roheisen bildet, darf man das siliciumreichste Eisen, das eigentliche Siliciumeisen, als das oberste Glied in der Reihe der Arten des grauen Roheisens betrachten. Im Einklange hiermit steht der Umstand, dafs im Handel das siliciumreichste Eisen am höchsten bezahlt wird; denn mit dem Siliciumgehalte, welchen das Roheisen bei seiner Erzeugung aufnimmt, wächst der erforderliche Brennstoffverbrauch und verringert sich die Erzeugungsfähigkeit des Schmelzofens, da die Reduktion des Siliciums einen sehr erheblichen Wärmeverbrauch erheischt (S. 59 I). Dem Auge freilich erscheint ein sehr siliciumreiches Eisen keineswegs als die vollkommenste Form eines grauen Roheisens im eigentlichen Sinne. Denn mit zunehmendem Siliciumgehalte nimmt der Gesamtkohlenstoffgehalt ab, und das Roheisen wird deshalb auch graphitärmer, wenn der Siliciumgehalt erheblich über 3 v. H. hinausgeht (S 321 I). Mit abnehmendem Graphitgehalte aber mufs die Farbe der Roheisenbruchfläche lichter werden und somit das äufsere Merkmal des grauen Roheisens an Deutlichkeit einbüfsen.

Solange man eigentliches Siliciumeisen nicht absichtlich dar-

stellte und überhaupt die Bedeutung des Siliciums im grauen Roheisen nicht kannte — und diese Zeit liegt nicht sehr weit zurück — ging man bei der Einteilung des grauen Roheisens, insbesondere des Koksroheisens, von der Anschauung aus, dafs das graphitreichste Roheisen allgemein das wertvollste sei, und dafs als zuverlässiges Merkmal für die Höhe des Graphitgehalts die mehr oder minder grobkörnige Beschaffenheit der Bruchfläche dienen könne. Je grobkörniger die Bruchfläche war, für desto graphitreicher und deshalb wertvoller hielt man das Roheisen, desto höher bezahlte man es. Man gab daher dem Roheisen Nummern gemäfs dem Aussehen seiner Bruchfläche und bezeichnete mit Nr. I das grobkörnigste und dem Ansehen nach graphitreichste, mit Nr. V das feinkörnigste, graphitärmste, dem weifsen Roheisen am nächsten stehende. War das Roheisen aber reich an Phosphor, wodurch sein Verkaufspreis erniedrigt wurde (Cleveländer, Luxemburger, Lothringer Roheisen), so bezeichnete man das grobkörnigste mit Nr. III und zählte bis VII. Diese Einteilung hat jetzt ihre Bedeutung verloren, nachdem man besser als früher den Wert der chemischen Analyse für die Beurteilung des Roheisens erkannt hat. Im Handel mit Giefsereiroheisen bezeichnet man allerdings das grobkörnigste, nicht sehr phosphorreiche Roheisen noch als Nr. I, minder grobkörniges als Nr. III. Eine Zwischenstufe (Nr. II) gibt es nicht im Handel; hellere, feinkörnigere Sorten als Nr. III werden allgemein „Ausfalleisen“ oder „meliertes Eisen“ genannt. Im übrigen folgt aus dem früher Gesagten, dafs das Aussehen der Bruchfläche keineswegs geeignet ist, als zuverlässiges Merkmal für den Wert des grauen Roheisens zu dienen. Denn dieser Wert ist in erster Reihe durch seinen Siliciumgehalt, nicht durch seinen Graphitgehalt bedingt. Ein Roheisen mit 5 v. H. Silicium aber pflegt feineres Korn und hellere Farbe auf der Bruchfläche zu besitzen als solches mit 2 oder 3 v. H. und wird daher, wenn man lediglich das Aussehen der Bruchfläche als mafsgebend für den Wert und den Verkaufspreis betrachtet, auch niedriger als dieses geschätzt; Roheisen mit 1. v. H. Silicium und 4 v. H. Kohlenstoff kann, wenn es im Schmelzofen stark überhitzt und dann langsam abgekühlt wurde, ein gleiches Bruchaussehen annehmen als solches mit 2,5 v. H. Silicium neben 3,5 v. H. Kohlenstoff und besitzt doch geringeren wirklichen Wert. Ein zuverlässiges Urteil über den Wert eines grauen Roheisens kann man daher nur durch die chemische Untersuchung erlangen [1]).

[1]) Wenn hier der Siliciumgehalt des grauen Roheisens als Wertmesser bezeichnet ist, würde doch die Schlufsfolgerung irrig sein, dafs für jede unmittelbare Verwendung des grauen Roheisens (zur Gufswarendarstellung, zum Verfrischen) das siliciumreichste das geeignetste sei. Für Gufswarenerzeugung würde z. B. in den meisten Fällen ein Gufseisen mit erheblich mehr als 2. v. H. Silicium nicht einmal gut brauchbar sein. Siliciumärmeres Roheisen aber ist verhältnismäfsig billig zu beschaffen; bei jedem erneuten Umschmelzen nimmt der Siliciumgehalt ab. Ist nun der Siliciumgehalt zu niedrig für die ins Auge gefafste Verwendung, so läfst sich ein solches Eisen nur brauchbar machen, indem man ihm siliciumreicheres zusetzt. Je höher der Siliciumgehalt des letzteren ist, desto geringer kann der zur Erreichung des Zweckes erforderliche Zusatz sein, aber desto höher beziffern sich nach früherem seine Erzeugungskosten. Auf diesen Umständen beruht der gröfsere Wert des siliciumreicheren Roheisens.

Die Hauptformen des Siliciumeisens und grauen Roheisens reihen sich demnach etwa folgendermafsen aneinander.

Eigentliches Siliciumeisen.

Der Siliciumgehalt beträgt in dem durch Hochofenbetrieb erzeugten Siliciumeisen 5 bis 18 v. H.; der Kohlenstoffgehalt ist um so niedriger, je höher der Siliciumgehalt ist, und pflegt in den weniger siliciumreichen Sorten etwa 3 v. H., in den reichsten dagegen nicht mehr als 1 v. H., mitunter noch weniger, zu betragen. Er ist vollständig oder fast vollständig als Graphit zugegen. Der Mangangehalt ist von dem der Erze abhängig, aus welchen das Siliciumeisen erzeugt wurde, in dem eigentlichen Siliciumeisen, dessen Kohlenstoff graphitisch ausgeschieden ist, jedoch selten hoch. Manganreichere, für gewisse Zwecke dargestellte Legierungen werden bei Besprechung des weifsen Roheisens Erwähnung finden. Da ein Phosphorgehalt den Wert des in seiner Herstellung kostspieligen Siliciumeisens abmindern würde, benutzt man nur phosphorarme Erze für dessen Erzeugung.

Siliciumeisen mit 5 bis 10 v. H. Silicium besitzt lichtgraue Farbe, um so hellere und mit einem um so deutlicheren Stiche ins Gelbliche, je höher der Siliciumgehalt ist. Bei mehr als 10 v. H. Silicium ist der Graphitgehalt in der Regel bereits so niedrig, dafs zwischen den Graphitblättchen die gelblichweifse Grundmasse deutlich erkennbar hervortritt, und in den siliciumreichsten Sorten sind die Graphitblätter nur in einzelnen Anhäufungen auf jener Grundmasse verteilt.

Das Gefüge ist feinkörnig; in den Sorten mit 5 bis 10 v. H. Silicium mitunter schuppig, hier und da mit rundlich gewölbten, von Graphitblättern überdeckten Absonderungsflächen, wo eine stärkere Graphitanhäufung stattgefunden hatte. Je mehr der Siliciumgehalt steigt, desto feiner wird das Korn.

Das Siliciumeisen erfolgt nur in sehr hoher Temperatur des Schmelzofens und entströmt daher beim Abstiche mit blendend weifser Farbe. Alsdann erstarrt es ruhig und ohne Funkensprühen. Als Brennstoffe zur Darstellung werden fast nur Koks benutzt.

Man verwendet das Siliciumeisen zur Sauerstoffentziehung bei der Flufseisenerzeugung oder zur Anreicherung des Siliciumgehalts ärmerer Roheisensorten bei anderen Verfahren, vornehmlich in der Giefserei.

Siliciumreiches graues Roheisen.

Siliciumgehalt 3,5 bis 5 v. H., Kohlenstoff 3,5 bis 2,5 v. H., gröfstenteils als Graphit zugegen. Das Roheisen ist den ärmeren Sorten des eigentlichen Siliciumeisens ähnlich, um so weniger feinkörnig und um so dunkler, je mehr der Graphitgehalt zunimmt. Seinem Bruchaussehen nach läfst es sich leicht mit einem wegen niedrigen Siliciumgehalts verhältnismäfsig graphitarmen Roheisen (Roheisen Nr. III oder IV nach der üblichen Einteilung) verwechseln, und wo man nicht die chemische Untersuchung zu Hilfe nahm, ist es nicht selten schon als solches in den Handel gebracht worden.

Die Erscheinungen beim Fliefsen und Erstarren sind nicht wesentlich anders als beim eigentlichen Siliciumeisen. Die zweckmäfsigste Verwendung findet dieses Roheisen als Zusatz zu siliciumärmerem Roheisen, wo dessen Siliciumgehalt zur Erreichung eines bestimmten Zweckes nicht hoch genug ist (Giefserei, Bessemerverfahren).

Tiefgraues Roheisen.

Der Siliciumgehalt beträgt 2 bis 3,5 v. H., der Kohlenstoffgehalt 4 bis 4,5 v. H.; jedoch kann auch Roheisen mit noch niedrigerem Siliciumgehalte (1,5 v. H.) die Merkmale des tiefgrauen Koksroheisens besitzen, wenn es arm an Mangan und reich an Kohlenstoff (4 bis 4,5 v. H.) ist. Unter allen Roheisensorten ist diese die graphitreichste. Der Graphitgehalt beträgt 3,2 bis 3,6 v. H., und die Graphitblättchen bedecken vollständig die Bruchfläche, wodurch diese ihr dunkelgraues Aussehen erhält. Das Gefüge ist ausgeprägt körnig; bei dem mit mineralischen Brennstoffen, insbesondere Koks, erblasenen Roheisen sehr grobkörnig, bei dem mit Holzkohlen erblasenen feinkörniger, weil dieses im Hochofen weniger stark überhitzt wurde, auch gewöhnlich in dünneren Masseln gegossen wird und daher rascher abkühlt. Häufig findet sich Gaarschaum (S. 320 I) in beträchtlichen Anhäufungen auf der Oberfläche oder auch in Drusen. Das mit mineralischen Kohlen erzeugte, sehr grobkörnige Roheisen wird als Nr. I (phosphorreiches als Nr. III) in den Handel gebracht, Holzkohlenroheisen dieser Art wird *hochgaares*, auch wohl *totgaares* Roheisen genannt.

Das tiefgraue Roheisen fliefst ebenfalls mit blendend weifser Farbe aus dem Schmelzofen, wirft dabei nicht selten Graphitblätter aus, welche die Gufsrinne bedecken, und ist wegen dieser beim Fliefsen eintretenden Gaarschaumabsonderung ziemlich dickflüssig. Das Erstarren geht ruhig von statten. Es dient, wie die früher besprochenen Arten, vornehmlich als Zusatz zu siliciumärmerem Roheisen, um dessen Siliciumgehalt anzureichern.

Gewöhnliches graues Roheisen.

Der Siliciumgehalt geht selten über 2 v. H., der Kohlenstoffgehalt selten über 3,5 v. H. hinaus. Der Graphitgehalt beträgt im Mittel etwa 3 v. H. und ist demnach etwas geringer als bei dem zuvor beschriebenen tiefgrauen Roheisen; das Gefüge ist etwas feinkörniger, die Farbe weniger dunkel. Koksroheisen dieser Art, welches für die Giefserei bestimmt ist, wird, je nachdem es dem vorher besprochenen oder dem noch graphitärmeren Roheisen näher steht, als Nr. I oder III in den Handel gebracht. Holzkohlenroheisen wird *gaares Roheisen* genannt. Die Gaarschaumbildung ist weniger stark als bei dem tiefgrauen Roheisen und verschwindet bei den weniger graphitreichen Arten ganz. Im geschmolzenen Zustande ist es dünnflüssiger als das vorige, verhält sich aber im übrigen diesem ähnlich. Für gewisse Zwecke der Giefserei (z. B. für Herstellung dünner, rasch erstarrender und deshalb leicht hart werdender Abgüsse) ist solches Roheisen ohne weiteres gut

brauchbar; ferner findet es, wenn seine sonstige Zusammensetzung dem Zwecke entspricht, insbesondere sein Phosphorgehalt niedrig genug ist, Anwendung für das Bessemerverfahren. Im übrigen dient es zum Umschmelzen (wobei der Silicium- und Graphitgehalt abnehmen) und als Zusatz zu siliciumärmerem Roheisen.

Lichtgraues Roheisen.

Der Siliciumgehalt beträgt 1 bis 1,5 v. H., der Gesamtkohlenstoffgehalt 3 bis 3,5 v. H., der Graphitgehalt etwa 2 v. H. oder wenig mehr. Das Gefüge ist noch feinkörniger, die Farbe noch heller als bei der vorigen Art; bei den graphitärmeren Stücken dieser Art erblickt man bereits deutlich die weifse Grundmasse, das Metall, zwischen den Graphitblättern. In diesem Falle nennt man das Roheisen, insbesondere das mit Holzkohlen erblasene, halbiertes oder meliertes Roheisen, und man unterscheidet auch wohl schwach halbiertes (mit gröfserem Graphitgehalt) und stark halbiertes (mit geringerem Graphitgehalte). Zeigt sich der Graphit auf der Bruchfläche nicht gleichmäfsig verteilt, sondern in Form einzelner, wie schwarze Flecke aussehender Anhäufungen auf weifsem Grunde, so wendet man in manchen Gegenden die Bezeichnung Forelleneisen dafür an. Koksroheisen dieser Art mit noch gleichmäfsig lichtgrauer Bruchfläche ohne erkennbare weifse Grundfläche wird als Nr. III in den Handel gebracht.

Dafs sehr siliciumreiches und deshalb kohlenstoffarmes Roheisen mitunter mit dem hier in Rede stehenden verwechselt werde, ist oben erwähnt worden.

Das lichtgraue Roheisen erfolgt in weniger hoher Temperatur als die vorher besprochenen Sorten und zeigt deshalb beim Austreten aus dem Schmelzofen weniger helle Farbe als jene. Beim Fliefsen wirft es häufig Funken, aus Eisenteilchen bestehend, welche durch entweichendes Gas fortgeschleudert wurden und an der Luft verbrennen, dabei oft noch in mehrere Teile zerstiebend; die Zahl der Funken wächst mit abnehmendem Siliciumgehalte. Beim Stehen in einer offenen Form zeigt das geschmolzene Roheisen dieser Art lebhafte Bewegung und an der Oberfläche eigentümliche Figurenbildungen (Spiel des Roheisens); nach dem Erstarren ist die Oberfläche häufig mit Löchern bedeckt, welche um so gröfser und tiefer sind, je siliciumärmer das Eisen ist[1]). Die Erscheinungen lassen schliefsen, dafs dieses Roheisen noch Oxyde gelöst enthalte, durch deren Einwirkung auf den Kohlenstoffgehalt eine Gasbildung veranlafst wird. Da nun das Metall vor dem Erstarren einen dickflüssigeren Zustand durchläuft als das an Silicium und Kohlenstoff reichere Roheisen, gibt das entweichende Gas zu dem erwähnten Funkenwerfen und schliefslich zu der Entstehung von Löchern an der Oberfläche Veranlassung.

---

[1]) Näheres über diese Erscheinungen und deren Ursachen: Ledebur, Das Roheisen, 4. Auflage, S. 42; auch Dürre, Handbuch des Eisengiefsereibetriebes, 3. Auflage, Band I, S. 129.

Man benutzt dieses Roheisen entweder für sich allein oder in Vermischung mit siliciumreicherem sowohl für die Gießerei als für verschiedene Frischverfahren.

Grelles oder halbweißes Roheisen.

Silicium und Kohlenstoff sind in noch geringeren Mengen zugegen als im lichtgrauen Roheisen (Silicium gewöhnlich etwa 1 v. H., Kohlenstoff 2,5 bis 3 v. H.); der Graphitgehalt ist gering. Die Graphitblätter sind auf der weißen, dichten Grundmasse zerstreut, und das Roheisen erhält dadurch einige Ähnlichkeit mit dem eigentlichen Siliciumeisen, von welchem es sich jedoch durch seine weniger gelbliche, mehr grauweiße Farbe und das abweichende Aussehen seines Gefüges unterscheidet. Eine genaue Beschreibung dieser Unterschiede zu geben, ist kaum möglich; ein Vergleich zweier Probestücke beider Roheisenarten läßt die Unterschiede ohne Schwierigkeit erkennen.

Dieses Roheisen bildet den Übergang vom Graueisen zum Weißeisen, dem es seinem Aussehen nach oft näher steht als ersterem. Es ist meistens ein infolge von Störungen des regelmäßigen Schmelzganges unbeabsichtigt entstandenes Erzeugnis des Hochofens. Es ist dickflüssig und beim Fließen oft mit einem förmlichen Funkenregen überdeckt. Jene beim lichtgrauen Roheisen an der frei erstarrenden Oberfläche sich bildenden Löcher treten beim grellen Roheisen in verstärktem Maße auf; mitunter auch bläht sich unter der Einwirkung entweichender Gase die Oberfläche auf, und es entstehen zwiebelartige Auswüchse. Häufig ist das Eisen schwefelreich, da in der niedrigeren Entstehungstemperatur der Schwefel weniger vollständig als bei den früher besprochenen Roheisenarten von der Schlacke aufgenommen wird.

Beispiele der Zusammensetzung verschiedener Sorten grauen Roheisens.

	Silicium	Gesamter Kohlenstoff	Graphit	Mangan	Phosphor	Schwefel	Kupfer
a) Mit mineralischen Brennstoffen erzeugt.							
Siliciumeisen der Niederrheinischen Hütte (Düsseldorfer Ausstellung 1902)	17,06	1,10	n.best.	1,23	0,12	0,02	n.best.
Siliciumeisen von Hörde, von mir untersucht	16,31	0,80	0,80	1,22	0,18	n.best.	„
Siliciumeisen von Königshütte, von mir untersucht	11,29	1,59	1,59	2,08	0,08	0,02	„
Siliciumreiches Roheisen von Friedenshütte, nach Jüngst[1]) . .	5,32	2,46	2,25	2,52	0,48	0,01	„

[1]) Schmelzversuche mit Ferrosilicium. Berlin 1890.

	Silicium	Gesamter Kohlenstoff	Graphit	Mangan	Phosphor	Schwefel	Kupfer
Grobkörniges Hämatitroheisen der Niederrheinischen Hütte Düsseldorfer Ausstellung 1902)	4,48	3,90	n.best.	0,95	0,08	0,02	n.best.
Siliciumreiches westfälisches Roheisen, als Nr. III verkauft, nach Wachler[1]	3,50	3,42	3,27	0,79	0,96	0,01	0,04
Schottisches Roheisen (Coltness) Nr. I, tiefgrau, nach Wachler[1])	3,50	3,50	3,30	1,58	0,98	0,02	0,10
Dasselbe Roheisen wie vorstehend, von einem anderen Abstiche, von mir untersucht . .	2,77	3,78	3,33	1,31	0,80	0,02	0,09
Schottisches Roheisen (Coltness) Nr. III, grau, von mir untersucht	2,16	2,82	2,54	0,67	0,51	n.best.	0,08
Schottisches Roheisen (Langloan) Nr. I, tiefgrau, nach Wachler	2,98	3,86	3,40	1,62	0,75	0,04	0,07
Englisches Roheisen von Middlesborough, als Nr. III in den Handel gebracht[2]), nach Wachler	2,52	3,52	3,39	0,68	1,49	0,05	0,04
Roheisen von Terre-Noire Nr I, tiefgrau, nach Kerpely[3]) . .	2,25	4,15	3,25	1,25	0,05	0,02	n.best.
Ebendaher Nr. II, grau	1,95	3,58	2,55	1,05	0,05	0,04	„
„ „ III, grau . . .	1,75	3,47	1,95	0,95	0,05	0,06	„
„ „ IV, lichtgrau . .	1,55	3,23	1,15	0,65	0,04	0,07	„
„ „ V, grell	1,45	3,02	0,85	0,58	0,05	0,08	„
(„Stahl und Eisen" 1905 S. 226.) Lothring. Gießereiroheisen Nr. III, grobkörnig, grau	2,62	3,62	n.best.	0,59	1,60	0,018	0,003
Dasselbe lichtgrau (Nr. IV)	1,28	3,64	„	0,48	1,67	0,022	0,014
„ meliert (Nr. V) .	1,17	3,58	„	0,41	1,70	0,014	0,015
Tiefgraues Bessemerroheisen von Georgs-Marienhütte (persönliche Mitteilung)	3,31	4,76	4,00	3,41	0,07	0,02	n.best.
Graues Bessemerroheisen ebendaher	2,52	3,76	3,10	3,90	0,07	0,03	„
Lichtgraues Bessemerroheisen (Nr. III) v. Georgs-Marienhütte	1,73	3,14	2,97	3,78	0,08	0,02	„
Gießereiroheisen ebendaher . .	2,64	n best.	n.best.	0,95	0,65	0,02	„
Wie vorstehend, Hämatitroheisen	2,52	„	„	1,26	0,10	0,02	„
Bessemerroheisen Nr. I, von Schwechat, von mir untersucht	2,31	3,57	„	3,74	0,07	0,03	„
b) Holzkohlenroheisen.							
Dunkelgraues Roheisen von Zorge am Harz (1886), von mir untersucht	2,11	3,61	3,01	0,47	0,46	0,04	0,03
Stark halbiertes Roheisen ebendaher, von mir untersucht . .	0,87	3,38	n.best.	0,22	0,43	0,06	n.best.

[1]) Vergleichende Qualitätsuntersuchungen rheinisch-westfälischen und ausländischen Gießereiroheisens. Berlin 1879.

[2]) Die Nummern der in der Gegend von Middlesborough erzeugten Roheisensorten Clarence, Newport, Claylane u. a., welche sämtlich ähnlich zusammengesetzt sind und einen Phosphorgehalt von ungefähr 1,5 v. H. aufweisen, beginnen, wie oben erwähnt wurde, erst bei Nr. III. (S. 18).

[3]) Eisen und Stahl auf der Weltausstellung zu Paris 1878. Leipzig 1879.

	Silicium	Gesamter Kohlenstoff	Graphit	Mangan	Phosphor	Schwefel	Kupfer
Steirisches Roheisen, grau, von mir untersucht	1,35	3,78	3,07	2,52	0,03	0,05	0,11
Halbiertes Roheisen ebendaher, von mir untersucht[1])	1,79	3,01	2,26	2,33	0,03	0,04	0,05
Graues Giefsereiroheisen von Ilsenburg (1875), von mir untersucht	2,20	3,50	2,97	0,41	0,51	0,07	0,05
Halbiertes ebendaher (1875), von mir untersucht	1,68	2,98	2,58	0,35	0,54	0,07	0,08
Stark halbiertes ebendaher (1874), von mir untersucht	1,02	3,19	2,40	0,28	0,59	0,09	0,10
Grelles ebendaher (1874), von mir untersucht	0,70	3,21	1,63	0,14	0,56	0,14	0,09
Graues Roheisen von Kallich in Böhmen (1861). Probestück in der Sammlung der Freiberger Bergakademie. Kristalldruse mit schön ausgebildeten Oktaëderkristallen, welche mit Kieselsäure überzogen sind[2]). Von mir untersucht.							
a) Das Muttereisen	1,85	3,11	n.best.	0,18	n.best.	0,04	0,17
b) Die Kristalle (nach Entfernung des Überzuges)	2,00	3,28	„	0,09	„	0,05	n.best.
Desgl. von Krompach (1878), von mir untersucht	1,48	3,50	2,35	2,44	0,12	0,05	0,34
Zum Weifswerden geneigtes Hartgufseisen, ebendaher, von mir untersucht	0,82	3,82	n.best.	2,85	0,11	0,005	0,15
Lichtgraues Roheisen von Rhónitz, nach Kerpely[3]) . . .	1,76	2,73	2,28	1,42	0,36	0,12	0,05
Halbiertes Roheisen von Dióśgyör, nach Kerpely[3])	2,54	2,52	1,78	2,88	0,15	0,04	0,32
Graues Roheisen von Pioneer Furnace (Nordamerika), nach Kupelwieser[4])	2,24	3,68	2,88	0,17	0,14	0,01	n.best.
Halbiertes schwedisches Gufseisen von Finspong zum Kanonengusse benutzt; stark halbierte Bruchfläche. Probe aus der Sammlung der Freiberger Bergakademie. Von mir untersucht	0,63	2,70	2,96	0,32	Sp.	0,15	Sp.

4. Das weifse Roheisen und das Eisenmangan.

Allgemeine Zusammensetzung.

Während das graue Roheisen drei für seine Bildung notwendige Körper, Eisen, Kohlenstoff und Silicium, enthält, sind für

[1]) Ein Vergleich der beiden Sorten steirischen Roheisens ist lehrreich. Das siliciumreichere Roheisen ist, da es ärmer an Gesamtkohlenstoff ist als das andere, doch auch graphitärmer und deshalb heller.

[2]) Vergl. S. 351 I.

[3]) Ungarns Eisensteine und Eisenhüttenerzeugnisse, S. 74—76.

[4]) Das Hüttenwesen. Bericht über die Weltausstellung in Philadelphia, S. 68.

die Entstehung des weifsen Roheisens nur Eisen und Kohlenstoff notwendig.

Silicium kann als zufälliger Nebenbestandteil in um so gröfseren Mengen zugegen sein, je niedriger der Kohlenstoffgehalt und je höher der Mangangehalt ist. Steigt der Siliciumgehalt über das durch diese Verhältnisse bedingte Mafs, so wird das Roheisen grau. Der Fall kommt nicht selten vor. Bleibt siliciumfreies weifses Roheisen im hocherhitzten Zustande lange Zeit mit kieselsäurereichen Körpern in Berührung, so wird durch den Kohlenstoff Silicium reduziert, und das Eisen wird grau; besonders leicht tritt dieser Vorgang ein, wenn das Eisen zugleich manganhaltig ist. Hier dient das Mangan als Reduktionsmittel für Silicium (S. 348 I); Mangan tritt aus, Silicium ein. In Giefsereien benutzt man neuerdings in einigen Fällen einen Zusatz von Siliciumeisen zu weifsem Roheisen, um dieses in graues, für Gufswarenerzeugung brauchbares umzuwandeln [1]). Im eigentlichen weifsen Roheisen geht der Siliciumgehalt selten über 0,8 v. H. hinaus und ist meistens geringer.

Mangan befördert die Entstehung des weifsen Roheisens, indem es die Graphitbildung erschwert. Daher verhüttet man manganreiche Erze in der Regel auf weifses Roheisen. Mit dem Mangangehalte pflegt auch der Kohlenstoffgehalt des weifsen Roheisens zu steigen, und beide zusammen erreichen in den Eisenmanganen ihr höchstes Mafs.

Phosphor findet sich in Mengen von weniger als 0,1 bis 3 v. H. und mitunter noch etwas darüber. Wie schon erwähnt worden ist, verhüttet man sehr phosphorreiche Erze vorteilhafter auf weifses als auf graues Roheisen, da für ersteres sich leichter als für letzteres passende Verwendung findet; im (weifsen) Thomasroheisen verlangt man sogar einen Phosphorgehalt von mindestens 2 v. H.

Schwefel ist in den manganärmeren Sorten des Weifseisens in durchschnittlich reicherer Menge (0,05 bis 0,20) anwesend als im Graueisen, da jene Roheisensorten in niedrigerer Temperatur und, bei Benutzung von mineralischen Brennstoffen, auch mit weniger stark basischer Schlacke als letzteres erzeugt werden. Eine so kalkreiche Schlacke, wie bei Graueisendarstellung mit Koks in der Regel gebildet wird, würde in der für Weifseisendarstellung erforderlichen niedrigeren Temperatur kaum schmelzen. Daher ist das mit mineralischen, schwefelhaltigen Brennstoffen erzeugte Weifseisen durchschnittlich auch schwefelreicher als das weifse Holzkohlenroheisen. Ist dagegen die Beschickung manganreich, so wird durch den Mangangehalt der Schwefel verschlackt (S. 357 I), und das Roheisen fällt entsprechend schwefelarm aus.

Kupfer, Nickel, Antimon, Arsen finden sich in gleichen Mengen wie im Graueisen; schwer reduzierbare Körper aber (z. B. Titan) werden in der niedrigeren Erzeugungstemperatur des weifsen Roheisens weniger leicht aufgenommen; das Eisen ist reiner [2]).

---

[1]) Vergl. C. Jüngst, Schmelzversuche mit Ferrosilicium. Berlin 1890. (Sonderabdruck aus der Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen 1890.)

[2]) Die gröfsere Reinheit des Weifseisens von zufällig anwesenden Fremdkörpern erklärt die durch Versuche nachgewiesene Tatsache, dafs man imstande

Aus der Reihe der Arten des weifsen Roheisens (einschliefslich der Eisenmangane) treten nachstehend beschriebene Formen als besonders eigenartig heraus.

Gewöhnliches Weifseisen.

Man nennt diese Form des weifsen Roheisens auch Matteisen (da es matt, d. h. träge fliefst) oder Treibeisen (da es beim Frischen rasch entkohlt wird). Es schliefst sich unmittelbar an das oben besprochene, beim Betriebe auf graues Roheisen entstehende grelle Roheisen an. Wie dieses besitzt es feinkörnige Bruchfläche, derjenigen eines durchgebrochenen frischen Käses ähnelnd; im wesentlichen unterscheidet sich das Aussehen der Bruchfläche von der des grellen Roheisens nur durch das Fehlen des Graphits. In Roheisenstücken, welche der nächstbesprochenen Art näher stehen, findet sich hier oder da Andeutung eines strahlenartigen Gefüges. Die Farbe der Bruchfläche ist weifs mit einem schwachen Stiche ins Graue. Der Kohlenstoffgehalt dieses Roheisens geht selten erheblich über 3 v. H. hinaus; auch der Mangangehalt ist niedrig (0,1 bis 1 v. H.). Silicium kann sich in Mengen bis zu 0,8 v. H. finden, sofern der Kohlenstoffgehalt ausreichend niedrig ist, um die Anwesenheit des Siliciums zu ermöglichen, ohne dafs Graphitbildung eintritt. Der Schwefelgehalt ist meistens ziemlich hoch (0,10 bis 0,25 v. H.).

Das Roheisen wird zum Verfrischen und in Giefsereien zur Darstellung schmiedbaren Gusses benutzt (in der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde besprochen); für letztere Verwendung darf ein hoher Kohlenstoff-, Mangan- und Phosphorgehalt nicht zugegen sein, während ein Siliciumgehalt von 0,4 bis 0,7 v. H. nicht unerwünscht ist.

Die Erscheinungen beim Fliefsen und Erstarren des Eisens sind denen, welche das grelle Roheisen zeigt, ähnlich. Wie dieses wirft es reichlich Funken und nimmt, sofern es nicht phosphorreich ist, einen breiartigen Zustand an, bevor es völlig starr wird.

Weifsstrahliges Roheisen.

Die Bruchfläche zeigt strahliges Gefüge, dessen Strahlen senkrecht gegen die Abkühlungsflächen gerichtet sind. Die Farbe ist reinweifs. Der Kohlenstoff beträgt 3 bis 4,5 v. H., der Mangangehalt 1 bis 4 v. H. Der Schwefelgehalt ist durchschnittlich niedriger als der des vorstehend besprochenen Roheisens. Nach der mehr oder minder vollkommenen Ausbildung der Strahlen kann man gewöhnlichen Weifsstrahl und hochstrahliges Roheisen unterscheiden; letzteres ist kohlenstoff- und mangan-

ist, durch Zusammenschmelzen von manganarmem Weifseisen mit einer entsprechenden Menge Siliciumeisen graues Roheisen von ausnahmsweise hoher Festigkeit, und deshalb für gewisse Zwecke der Giefserei besonders gut geeignet, zu bilden. Vergl. hierüber C. Jüngst, Schmelzversuche mit Ferrosilicium, Berlin 1890.

reicher. Steigt dagegen der Siliciumgehalt bis zu einem Mafse, dafs teilweise Graphitausscheidung eintritt, so nennt man das Roheisen Kerneisen oder halbiertes Roheisen.

Im geschmolzenen Zustande ist das weifsstrahlige Roheisen dünnflüssiger als das vorige; das Funkenwerfen ist schwächer oder fehlt gänzlich. Dagegen pflegen die manganreicheren Sorten mit einer Flammenschicht bedeckt zu sein, aus welcher sich ein dünner, weifser, gröfstenteils aus Kieselsäure bestehender Rauch entwickelt.

Dieses Roheisen wird vorzugsweise zum Verfrischen benutzt; ausnahmsweise in Giefsereien als Zusatz zu grauem Roheisen, um dessen Eigenschaften in bestimmter Weise zu beeinflussen.

Spiegeleisen.

Wenn die Strahlen des manganhaltigen Weifseisens eine gröfsere Breite annehmen, so entstehen grofse ebene Absonderungsflächen von weifser Farbe, welche ebenfalls rechtwinklig gegen die Abkühlungsflächen gerichtet sind, sich gegenseitig aber in verschiedenen Richtungen kreuzen und Spiegel genannt werden. Das Roheisen heifst alsdann Spiegeleisen. Es ist durch einen höheren Kohlenstoff- und Mangangehalt als das weifsstrahlige Eisen ausgezeichnet (Kohlenstoff 4 bis 5 v. H., Mangan 5 bis 20 v. H.); da die Erzeugungskosten des Spiegeleisens höher sind als diejenigen der zuvor besprochenen Sorten Weifseisen, ein hoher Phosphorgehalt aber seinen Wert abmindern würde, benutzt man nur phosphorarme Erze für seine Darstellung, und das Spiegeleisen erhält daher selten mehr als 0,15 v. H. Phosphor, meistens weniger. Auch der Schwefelgehalt dieses Roheisens ist stets gering, da er durch den nie fehlenden reichlichen Mangangehalt in die Schlacke geführt wird.

In Drusenräumen des Spiegeleisens findet man nicht selten blätter- oder fächerförmige, sich durchkreuzende Kristallbildungen. Jedes dieser Blätter besteht, wie Martens zuerst nachwies[1]), aus einer Reihe nebeneinanderliegender vierseitiger Säulen des rhombischen Systems.

Übergänge zwischen dem eigentlichen Spiegeleisen und dem Weifsstrahl, bei welchem die Absonderungsflächen schmal sind und strahlenförmigen Bildungen ähneln, werden Halbspiegeleisen genannt. Spiegeleisen mit einem Mangangehalte von 5 bis 6 v. H. pflegt zwar deutlich ausgebildete, aber kleine Spiegelflächen aufzuweisen und heifst Kleinspiegel; die gröfsten Spiegelflächen erscheinen bei einem Mangangehalte von 6 bis 15 v. H. (Grobspiegel); bei noch höherem Mangangehalte werden die Spiegel wieder undeutlicher, und zwischen ihnen erscheint feinkörniges Metall (hochmanganhaltiges Spiegeleisen). Fand das Spiegeleisen Gelegenheit, einen reichlicheren Gehalt von Silicium aufzunehmen, so zeigt sich am Saume der Spiegel-

[1]) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1878, S. 205.

flächen beginnende Graphitausscheidung, und das Eisen heifst Grau- oder Saumspiegel.

Geschmolzenes Spiegeleisen ist sehr dünnflüssig, so dafs es bisweilen sogar in die Fugen des Schmelzofens eindringt; beim Fliefsen zeigt es reichliche Flammenbildung mit Rauchentwicklung (ohne Funkenwerfen), und beim Abkühlen geht es rasch in den festen Zustand über, ohne einen breiartigen Übergangszustand zu durchlaufen. Die Ausbildung der Spiegel erfolgt um so vollständiger, je langsamer die Abkühlung von statten geht; daher läfst man wohl das Spiegeleisen unter einer Schlackendecke erkalten, sofern man Wert auf vollendete Ausbildung der Spiegelfläche legt[1]).

Das Spiegeleisen findet nur bei den verschiedenen Frischverfahren Verwendung. Es ist hart und spröde.

Eisenmangane.

Wenn der Mangangehalt des Eisens über 25 v. H. hinausgeht, verliert sich das dem Spiegeleisen eigentümliche blättrige Gefüge und macht einem dichten feinkörnigen Gefüge Platz; in Drusen finden sich nadelförmige Kristallbildungen. Die reinweifse Farbe des Spiegeleisens ist in Gelblichweifs übergegangen; wo aber beim Abkühlen die Luft durch entstandene feine Risse beschränkten Zutritt fand, entstehen prächtige Anlauffarben in allen Farben des Regenbogens.

Man stellt solche Eisenmangane im Eisenhochofen dar mit Mangangehalten von 30 bis 85 v. H., mitunter noch etwas darüber. Mit dem Mangangehalte steigt der Kohlenstoffgehalt, und in den manganreichsten Sorten kann dieser 7,5 v. H. betragen, sofern nicht ein gröfserer Siliciumgehalt zugegen ist.

Auch Siliciumeisenmangane (häufig Siliciumspiegel oder Silicospiegel genannt, obschon sie nicht immer das dem Spiegeleisen eigentümliche Gefüge besitzen) mit einem Siliciumgehalte bis etwa 15 v. H. werden für gewisse Zwecke des Eisenhüttenbetriebes erzeugt. Ihr Kohlenstoffgehalt sinkt mit zunehmendem Siliciumgehalte; der Mangangehalt aber verhindert trotz des letzteren die Graphitbildung.

Alle diese Eisenmanganlegierungen finden nur als sauerstoffentziehende Zusätze bei der Darstellung des Flufseisens Verwendung. Ihre Herstellungskosten wachsen erheblich mit dem Mangangehalte; aber manganreiche Eisenmangane sind trotzdem unentbehrlich in solchen Fällen, wo man geschmolzenem Flufseisen eine bestimmte Menge Mangan zuzuführen beabsichtigt, ohne zugleich seinen Kohlenstoffgehalt erheblich anzureichern.

---

[1]) Auch das Spiegeleisen wurde früher wie das graue Roheisen fast nur nach dem Bruchaussehen verkauft, wobei man die Gröfse der Spiegel als Mafsstab betrachtete. In der Jetztzeit ist die Höhe des durch chemische Untersuchung gefundenen Mangangehalts bestimmend; mit dem Mangangehalte steigt der Preis.

Beispiele der Zusammensetzung des weifsen Roheisens und der Eisenmangane.

	Gesamter Kohlenstoff	Mangan	Silicium	Phosphor	Schwefel	Kupfer
Gewöhnliches Weifseisen aus Cumberland, zur Darstellung schmiedbaren Gusses benutzt, von mir untersucht	3,08	0,16	0,28	0,02	0,10	n.best.
Gewöhnliches Weifseisen aus Gleiwitz [1])	3,18	0,78	0,58	0,96	0,07	„
Feinstrahliges Eisen von Reschitza, nach Kerpely [2])	3,66	0,56	0,74	0,19	0,21	0,06
Oberschlesisches weifses Holzkohlenroheisen, nach Jüngst [3])	2,76	0,52	0,38	0,91	0,08	n.best.
Oberschlesisches weifses Thomasroheisen, von mir untersucht (enthielt auch 0,056 v. H. Titan, 0,078 v. H. Chrom, 0,072 v. H. Vanadin) . . .	2,52	0,79	0,29	2,36	0,12	0,10
Weifsstrahliges Holzkohlenroheisen von Eisenerz (Österr. Jahrbuch, Bd 36, S. 89)	3,72	0,69	0,12	0,07	0,02	n.best.
Weifsstrahl von Ilsede („Stahl und Eisen“ 1881, S. 245)	2,68	3,84	0,11	3,29	0,04	„
Weifsstrahl von Reschitza, nach Kerpely [2])	4,27	2,22	0,32	0,04	Sp.	0,24
Weifsstrahliges Eisen von Firminy („Stahl und Eisen“ 1889, S. 858) . .	3,20	1,02	0,40	0,07	0,07	n.best.
Weifsstrahliges Eisen von Mont St. Martin (The Journal of the Iron and Steel Institute 1890, II, S. 759) . .	3,20	2,00	0,35	2,20	0,02	„
Weifsstrahl von Lölling (Holzkohlenroheisen; Österr. Jahrb. 1888, S. 87)	3,50	4,22	0,57	Sp.	0,05	„
Kerneisen (halbiertes Weifseisen mit 0,75 v. H. Graphit) von Gleiwitz; Quelle wie oben	3,51	3,36	1,28	0,89	0,05	„
Kerneisen mit 2,46 v. H. Graphit von Georgs-Marienhütte; persönliche Mitteilung	3,67	2,74	1,08	0,09	0,05	„
Kleinspiegeleisen ebendaher	3,88	4,28	0,87	0,08	n.best.	„
Spiegeleisen ebendaher	n.best.	10,41	0,56	0,08	0,02	„
Spiegeleisen von den Kruppschen Eisenwerken, in meinem Laboratorium untersucht	5,30	11,30	0,30	0,16	0,01	„
Spiegeleisen von Reschitza, nach Kerpely; Quelle wie oben	5,39	7,05	0,52	0,002	0,21	0,07
Hochmanganhaltiges Spiegeleisen von St. Louis („Stahl und Eisen“ 1889, S. 858)	6,00	27,41	0,23	0,06	0,01	0,02
Grauspiegel mit 2,71 v. H. Graphit von Georgs-Marienhütte; Quelle wie oben	5,20	4,47	0,88	0,07	0,04	n.best.
Grauspiegeliges Eisen von Aplerbecker Hütte, von mir untersucht	4,18	3,80	0,45	0,29	0,02	0,25
Eisenmangan von Reschitza, nach Kerpely; Quelle wie oben	4,01	28,35	0,90	0,24	0,00	0,06

[1]) Zeitschrift für Berg-, Hütten und Salinenwesen, Band 22, S. 291.
[2]) Ungarns Eisensteine und Eisenhüttenerzeugnisse, S. 80.
[3]) Schmelzversuche mit Ferrosilicium.

	Gesamter Kohlenstoff	Mangan	Silicium	Phosphor	Schwefel	Kupfer
Kristallisiertes Eisenmangan von der Gutehoffnungshütte (1878), von mir untersucht	5,53	35,43	0,06	Sp.	Sp.	n.best.
Eisenmangane von der Niederrheinischen Hütte (Düsseldorfer Ausstellung 1902)	7,10	85,37	1,40	0,25	Sp.	„
Siliciumspiegel von Middlesborough („Stahl und Eisen“ 1889, S. 859) . .	1,39	19,25	12,25	0,05	Sp.	0,01
Desgleichen von der Niederrheinischen Hütte (Düsseldorfer Ausstellung 1902)	1,10	20,51	14,65	0,14	0,02	n.best.

Literatur.

a) Einzelne Werke.

E. F. Dürre, Über die Konstitution des Roheisens und den Wert seiner physikalischen Eigenschaften zur Begründung eines allgemeinen Konstitutionsgesetzes für dasselbe. Leipzig 1868.

R. Wachler, Vergleichende Qualitätsuntersuchungen rheinisch-westfälischen und ausländischen Gieſsereiroheisens. Sonderabdruck aus Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen. Berlin 1879.

A. Ledebur, Das Roheisen mit besonderer Berücksichtigung seiner Verwendung für die Eisengieſserei. Vierte, vollständig umgearbeitete Auflage. Leipzig 1904.

b) Abhandlungen.

A. Martens, Zur Mikrostruktur des Spiegeleisens. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1878, S. 205, 481.

A. Martens, Über das mikroskopische Gefüge und die Kristallisation des Roheisens, speziell des grauen Roheisens. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1880, S. 398.

Th. Turner, The constituents of cast iron. The Journal of the Iron and Steel Institute 1886, I, S. 163.

A. Platz, Über einige Saigerungserscheinungen beim weiſsen Roheisen. „Stahl und Eisen“ 1886, S. 244.

B. Platz, Die Wanzenbildung auf Roheisen und die Kügelchenbildung im Roheisen. „Stahl und Eisen“ 1887, S. 639.

Riemer, Die Wanzenbildung auf Roheisen und die Kügelchenbildung im Roheisen. „Stahl und Eisen“ 1887, S 791.

A. Jaumain, Note sur la composition des pailles qui se détachent de la partie supérieure des gueusets de certaines fontes d'affinage. Annales des mines, Reihe 8, Band 1, S. 552.

W. Shimer, Titanium carbide in pig-iron. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 15, S. 455.

C. Jüngst, Schmelzversuche mit Ferrosilicium. Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Band 38 (1890) Heft 1; auszugsweise bearbeitet in „Stahl und Eisen“ 1890, S. 292.

E. Donath und M. Haissig, Zur Kenntnis des technischen Ferrosiliciums. „Stahl und Eisen“ 1897, S. 670.

A. Ledebur, Über einige Saigerungserscheinungen beim Eisen. „Stahl und Eisen“ 1884, S. 634.

A. Ledebur, Über die Kügelchenbildung in Guſsstücken. „Stahl und Eisen“ 1887, S. 170.

A. Ledebur, Über den Einfluſs der Winderhitzung auf die Zusammensetzung des erblasenen Roheisens. „Stahl und Eisen“ 1887, S. 168.

A. Ledebur, Neuere Untersuchungen über die Eigenschaften des Gufseisens. „Stahl und Eisen" 1890, S. 602.
A. Ledebur, Giefsereiroheisen und Gufseisen. „Stahl und Eisen" 1896, S. 433.
A. Ledebur, Steigerung der Gufseisenfestigkeit durch Erschütterungen. „Stahl und Eisen" 1898, S. 213.
R. Moldenke, Der Schmelzpunkt des Gufseisens. „Stahl und Eisen" 1899, S. 18
C. Bach, Versuche über das Arbeitsvermögen und die Elastizität von Gufseisen mit hoher Zugfestigkeit. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1900, S. 409.
C. Bach, Versuche über die Druckfestigkeit hochwertigen Gufseisens und über die Abhängigkeit der Zugfestigkeit desselben von der Temperatur. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1901, S. 168.
O. Leyde, Festigkeit und Struktur des Gufseisens. „Stahl und Eisen" 1904 S. 94.
O. Leyde, Angewandte Chemie im Giefsereibetriebe. „Stahl und Eisen" 1904, S. 801, 879.
A. E. Outerbridge, Neue Untersuchungen und Entdeckungen über die Eigenschaften des Gufseisens. Aus dem Journal of the Franklin Institute, Band 157, „Stahl und Eisen" 1904, S. 407.
H. Nathusius, Magnetische Eigenschaften des Gufseisens. „Stahl und Eisen" 1905, S. 99, 164, 290.
Dr. Wüst, Klassifikationsvorschläge für Giefsereiroheisen. „Stahl und Eisen" 1905, S. 222, 283, 345.
Jüngst, Eine Phase aus dem Kapitel Gufseisenprüfung. „Stahl und Eisen" 1905, S. 415; vergl. auch S. 1255.
A. Martens, Vorschriften für die Lieferung von Gufseisen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1905, S. 404.

II. Der Hochofen.

1. Geschichtliches.

Den zur Darstellung von Roheisen und Eisenmanganen im grofsen benutzten Ofen nennt man wegen seiner beträchtlichen Höhe Hochofen oder Hohofen. Wie er nach Einführung der Anwendung von Wasserkraft zum Betriebe der Gebläse allmählich aus den kleineren, zur Darstellung schmiedbaren Eisens aus den Erzen benutzten Öfen sich entwickelte, ist bereits auf S. 12 I geschildert worden.

Die frühesten Spuren der gewerbsmäfsigen Roheisendarstellung finden sich nach Gurlt im Anfange des 13. Jahrhunderts im Siegerlande und bei Schmalkalden[1]). Die ersten dafür benutzten Öfen wurden Blaöfen oder Blauöfen (Blaseöfen) genannt und hatten kaum mehr als 3 m Höhe. Nach Ludwig Beck[2]) gab es im Jahre 1443 im Siegerlande bereits gesetzliche Bestimmungen über den Betrieb solcher Blauöfen. Später erhöhte man die Öfen bis auf 5 m und verlieh ihnen nun erst den Namen Hochöfen. Gegen die Mitte des 15. Jahrhunderts wurde die Roheisendarstellung, welche fast immer Hand in Hand mit der unmittelbaren

---

[1]) Adolf Gurlt, Bergbau und Hüttenkunde, 2. Auflage, S. 128.
[2]) Geschichte des Eisens, Band 1, S. 964.

Verwendung des Roheisens zur Gufswarenerzeugung ging, in England eingeführt; in den ersten Jahren des 16. Jahrhunderts begann sie am Harze sich einzubürgern. Der erste Hochofen Nordamerikas wurde um 1644 in Massachusetts Bay errichtet[1]).

Vielfach aber vollzog sich die Änderung der Betriebsweise ganz allmählich. In den österreichischen Alpen benutzte man noch gegen Ende des 18. Jahrhunderts Stücköfen, zur unmittelbaren Darstellung schmiedbaren Eisens bestimmt, in welchen vor dem eigentlichen „Stücke", d. h. dem Schweifseisen, regelmäfsig Roheisen erfolgte[2]), und in einzelnen Gegenden Japans findet noch heute ein ähnlicher Betrieb statt[3]).

Während des 18. und teilweise schon während des 17. Jahrhunderts stellte man, veranlafst durch den überhandnehmenden Holzmangel Grofsbritanniens, in diesem Lande beharrlich Versuche an, anstatt der bis dahin ausschliefslich verwendeten Holzkohlen mineralische Brennstoffe für den Hochofenbetrieb zu verwenden. 1619 wurde schon in Dudley ein Ofen versuchsweise mit Steinkohlen betrieben[4]); einige Jahre später wurde durch den Erfinder des Verfahrens, Dud Dudley, bei Hasco-Bridge in Staffordshire der erste für den Betrieb mit Koks bestimmte Hochofen gebaut. Unglückliche Verhältnisse liefsen jedoch das Unternehmen nicht zur Blüte kommen, und erst 1735 wurde der erste regelmäfsige Betrieb mit Koks durch Abraham Darby zu Coalbrookdale in Shropshire, bald darauf (1740) auch zu Pontypool in Monmouthshire eingerichtet[5]).

Auf dem Festlande wurden die ersten Versuche, mit Koks zu schmelzen, bei einem Holzkohlenhochofen zu Sulzbach im Saargebiete im Jahre 1767 angestellt[6]); der erste von vornherein für die ausschliefsliche Benutzung von Koks bestimmte Hochofen wurde 1782 zu Creuzot in Frankreich errichtet[7]); 1795 folgte die Erbauung eines Kokshochofens zu Gleiwitz in Oberschlesien[8]).

Die Roheisenerzeugung der älteren Hochöfen war im Vergleiche zu derjenigen der Jetztzeit sehr klein. Ein im Jahre 1544 zu Ilsenburg am Harze angelegter Hochofen lieferte, wie aus überkommenen Hüttenrechnungen hervorgeht, gegen Ende des 16. Jahrhunderts täglich 15 Ztr. (etwa 750 kg) Eisen[9]); auch der von Dudley erbaute Kokshochofen zu Hasco-Bridge erzeugte wöchent-

---

1) James M. Swank, History of the manufacture of iron, Philadelphia 1892, S. 108.

2) G. Jars, Metallurgische Reisen. Deutsch von C. A. Gerhard. Berlin 1777—1785, Band I, S. 65.

3) „Stahl und Eisen" 1901 S. 841.

4) L. Beck, Geschichte des Eisens, Band 2, S. 1259—1270.

5) J. M. Swank, im genannten Werke, S. 53, auch Ludwig Beck, Geschichte des Eisens, Band 3, S. 162.

6) Simmersbach, Die Koksfabrikation im Oberbergamtsbezirke Dortmund. Berlin 1887. A. Hafslacher, Beiträge zur älteren Geschichte des Eisenhüttenwesens im Saargebiete. Berlin 1896.

7) „Stahl und Eisen" 1896. S. 983, 1005.

8) Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Bd. 22, S. 253.

9) Wedding, Beiträge zur Geschichte des Eisenhüttenwesens im Harz.

lich nur 7 t Roheisen[1]), und diese Erzeugung galt damals für aufsergewöhnlich grofs. Selbst der zu Gleiwitz 1795 erbaute Ofen vermochte anfänglich nicht mehr als 7 t Roheisen in der Woche zu liefern; jedoch hatte um 1800 sich die Erzeugung auf etwa 20 t gesteigert. In der Jetztzeit gilt eine wöchentliche Roheisenerzeugung eines Hochofens von 1000 t keineswegs für sehr erheblich, und bisweilen steigt sie auf mehr als den dreifachen Betrag.

Die gröfste Menge alles erzeugten Roheisens verwendete man anfänglich für die Giefserei. Der Giefsereibetrieb war gewöhnlich der eigentliche Zweck, um dessentwillen man Hochöfen anlegte; denn schmiedbares Eisen hatte man schon seit Jahrtausenden unmittelbar aus Erzen erzeugen können, und eine Veranlassung, diesen einfacheren Weg zu verlassen, lag damals nicht vor. Man stellte demnach graues Roheisen dar und vergofs das flüssige Metall unmittelbar in Formen. Nur die hierbei entstehenden Abfälle wurden auf schmiedbares Eisen verarbeitet. Es erklärt sich hieraus, dafs in Gegenden, wo manganreiche, für Weifseisendarstellung mehr als für Graueisenerzeugung geeignete Erze verhüttet wurden, man sich verhältnismäfsig langsam entschlofs, das frühere Verfahren, Darstellung von schmiedbarem Eisen unmittelbar aus Erzen, aufzugeben und zur Roheisendarstellung überzugehen. Erst als nach Erfindung der Dampfkraft und Einführung der Eisenbahnen mit Dampfbetrieb der Bedarf an Eisen im ganzen und an schmiedbarem Eisen insbesondere in nie geahnter Weise stieg[2]), und als man ferner gelernt hatte, zum Verfrischen des Roheisens mineralische Kohlen zu benutzen, während die unmittelbare Darstellung von schmiedbarem Eisen aus Erzen nach wie vor nur mit Holzkohlen möglich war, gewann die Darstellung weifsen Roheisens, welches seines niedrigeren Siliciumgehalts halber sich rascher als graues in schmiedbares Eisen umwandeln läfst, eine erhöhte Bedeutung, und die Menge des ausschliefslich zum Verfrischen erblasenen — grauen und weifsen — Roheisens überwog bald die Menge des für die Giefserei bestimmten um ein beträchtliches.

Der gesteigerte Bedarf an Roheisen überhaupt liefs sich jedoch nur durch Anwendung von Koks für den Hochofenbetrieb decken, und je mehr das Eisenbahnnetz sich über die eisenerzeugenden Gegenden ausbreitete, desto reichlichere Gelegenheit zur Beschaffung verhältnismäfsig billiger Koks bot sich auch solchen Eisenwerken, welche fern von den Steinkohlenlagern belegen waren. So minderte sich die Zahl der Holzkohlenhochöfen von Jahr zu Jahr, während die Kokshochöfen sich rasch vermehrten. Die geringere Verwendbarkeit des Koksroheisens für den unmittelbaren Gufs aus dem Hochofen und die wachsende Zahl der Eisengiefsereien, fern von einem Hochofenwerke, liefsen auch da, wo man Giefsereiroheisen erzeugte, die alte Betriebsweise — die Vereinigung der Eisengiefserei mit dem Hochofen — mehr und mehr verschwinden, sobald man zum Betriebe mit Koks

---

1) Beck, Geschichte des Eisens, Bd. 2, S. 1261

2) Vergl. S. 13 I.

überging[1]). Der Eisengießereibetrieb sonderte sich vom Hochofenbetriebe und trat als selbständiges Glied in die Reihe der verschiedenen Betriebszweige. Der Zeitpunkt, von wo an diese Umwandlung sich zu vollziehen begann, war das Ende des 18. Jahrhunderts. Noch um die Mitte des 19. Jahrhunderts gab es indes zahlreiche Eisengießereien, in welchen man zur Ersparung an Schmelzkosten für das Roheisen unmittelbar aus dem Hochofen goß, zumal wenn dieser mit Holzkohlen betrieben wurde; mit der Abnahme der Zahl der Holzkohlenhochöfen ist auch diese Betriebsweise jetzt seltener geworden. Während in Deutschland im Jahre 1871 noch 17 v. H. aller Eisengußwaren unmittelbar aus dem Hochofen gegossen wurden[2]), war im Jahre 1903 das Verhältnis auf 2,9 v. H. gesunken.

2. Die innere Form und die Abmessungen der Hochöfen.

Die verschiedenen Hochofenformen und ihr Einfluß auf den Hochofenschmelzgang.

Der Hochofen ist ein Schachtofen (S. 143 I), in dessen obere Öffnung, die Gicht, die zu verhüttenden Erze und Zuschläge in abwechselnden Lagen mit den zur Heizung und Reduktion bestimmten Brennstoffen — Holzkohlen, Koks, auch wohl rohen Steinkohlen oder Anthraciten — eingeschüttet werden, während in dem unteren Teile des Ofens durch zugeführte Gebläseluft Verbrennung des Brennstoffs stattfindet.

Solcherart entsteht die jedem eigentlichen Schachtofen eigentümliche entgegengesetzte Bewegungsrichtung der gasförmigen Verbrennungserzeugnisse und der festen Körper, welche eine ausgedehnte Berührung beider ermöglicht. Die Gase steigen empor, geben hierbei einen reichlichen Teil ihrer aufgenommenen Wärme an die ihnen begegnenden festen Körper ab und entweichen schließlich aus der Gicht; die festen Körper führen die den Gasen entzogene Wärme wieder nach unten. Während des Niederrückens der Erze findet unter der Einwirkung des Kohlenoxydgehalts des Gasstroms die Reduktion eines reichlichen Teils ihres Eisengehalts statt; vollendet wird die Reduktion durch die Berührung der bereits geschmolzenen Massen mit den weißglühenden Kohlen, welche zugleich die Kohlung des Eisens bewirken. Aus den Berechnungen auf S. 309 I folgt aber, daß der Wärmeverbrauch zur Reduktion

---

[1]) Die Gründe, weshalb Holzkohlenroheisen besser als Koksroheisen sich für die unmittelbare Gußwarenerzeugung eignet, sind verschieden. In dem höheren Kokshochofen herrscht eine höhere Gasspannung und eine höhere Temperatur. Unter dem höheren Gasdrucke löst das Metall reichlichere Mengen von Gasen, welche beim Gießen entweichen und zur Entstehung undichter Abgüsse Veranlassung geben; in der höheren Temperatur wird leicht mehr Silicium in das Roheisen geführt, als für dessen unmittelbare Verwendung für Gußwarenerzeugung wünschenswert ist, und das stark überhitzte Eisen wird veranlaßt, mehr Kohlenstoff aufzulösen, als seinem Sättigungsgrade in weniger hoher Temperatur entspricht. Die Folge davon ist dann Gaarschaumbildung bei Abkühlen (S. 320 I), und die Abgüsse fallen unsauber aus.

[2]) „Stahl und Eisen" 1882, S. 212.

gröfser ist, wenn Kohle als wenn Kohlenoxydgas das Reduktionsmittel bildet, und dafs aus diesem Grunde möglichst weitgehende Reduktion durch Kohlenoxydgas wünschenswert ist. Die flüssigen Enderzeugnisse der Reduktion und Schmelzung sind das Roheisen und die Schlacke; sie sammeln sich unterhalb der Windeinströmungsöffnungen (Formen), sondern sich vermöge der Verschiedenheit ihres spezifischen Gewichts (spezifisches Gewicht des Roheisens etwa 7,8, der Schlacke 2,8) von einander und lassen sich getrennt dem Hochofen entziehen.

Die Gase des Hochofens haben demnach eine doppelte Aufgabe zu erfüllen. Sie bilden die Träger der bei ihrer Erzeugung gebildeten Wärme, um diese an die ihnen begegnenden festen Körper abzugeben, und sie sollen als Reduktionsmittel für die Erze dienen. In je gleichmäfsigerer Verteilung sie die Schmelzsäule, d. h. die den Ofen anfüllenden festen Körper, durchdringen, desto vollständiger können sie beide Aufgaben erfüllen.

Die innere Form des Hochofens mufs demnach so beschaffen sein, dafs sie sowohl jene gleichmäfsige Verteilung der Gase als auch das gleichmäfsige Niederrücken der festen Körper tunlichst erleichtert. Hierfür ist zunächst erforderlich, dafs die vom Umfange des Ofens her durch die Windformen eintretende Verbrennungsluft auch bis zur Mitte des Ofens vordringen kann; mit dem Durchmesser des Ofens in der Formenebene mufs deshalb die Geschwindigkeit des eintretenden Windes zunehmen, welche durch dessen mit dem Manometer mefsbare Spannung bedingt ist. Der gleichmäfsige Niedergang der festen Körper aber wird erschwert durch die Reibung, welche sie an den Ofenwänden erleiden. An dem Umfange des Ofeninnern wird dadurch ihre Bewegung verlangsamt, in der Mitte rücken sie rascher vor. Dadurch entsteht eine Auflockerung am Umfange und eine dichtere Lagerung in der Mitte; die Gase finden demgemäfs am Umfange geringere Widerstände und erhalten dadurch das Bestreben, vorwiegend hier aufzusteigen.

Die einfachste Form des Hochofens würde ein Zylinder sein; aber dem erläuterten Zwecke würde sie um so weniger entsprechen, je gröfser die Abmessungen des Ofens sind. Denn mit dem Ofendurchmesser in der Formenebene wächst für die eintretende Verbrennungsluft die Schwierigkeit, bis zur Mitte zu gelangen, und deshalb mufs auch, wie erwähnt, mit dem Ofendurchmesser die Geschwindigkeit (Spannung) der eintretenden Luft und die zur Erzeugung dieser Geschwindigkeit erforderliche mechanische Arbeit zunehmen. Ein enger Durchmesser des Ofens in der Formenebene befördert demnach die Gleichmäfsigkeit der Verbrennung. Dem Bestreben der Gase aber, am Umfange aufzusteigen, können sie in einem zylindrischen Ofen in stärkerem Mafse Folge geben, als wenn der Ofen von der Formenebene an nach obenhin allmählich sich erweitert; letztere Form ist also für die Erzielung einer gleichmäfsigen Verteilung der Gase günstiger. Hierzu kommt, dafs von der Stelle an, wo die Sinterung der festen Körper beginnt, auch der Rauminhalt der niederrückenden Massen sich verringert, und dafs die an einer noch tieferen Stelle beginnende Verbrennung der Kohlen eine fernere Abnahme des räumlichen Inhalts der Schmelz-

säule zur Folge hat. Für den gleichmäfsigen Niedergang der Körper ist demnach eine der Abnahme ihres räumlichen Inhalts entsprechende Abnahme des Ofenquerschnitts förderlich. Man gibt also dem unteren Teile des Ofens, da, wo der Wind eintritt und die Verbrennung stattfindet, einen verhältnismäfsig engen Durchmesser und läfst den Ofen von hier aus nach oben sich zunächst allmählich erweitern. Je gröfser der Ofen ist, desto mehr fallen die geschilderten Umstände ins Gewicht. Kleine Öfen hat man in der Tat hier oder da zylinderförmig gebaut, ohne dafs bemerkbare Nachteile daraus sich ergeben hätten[1]).

Die Abnahme des räumlichen Inhalts der Schmelzsäule aber beginnt erst weit unterhalb der Gicht; schon aus diesem Grunde würde es unzweckmäfsig sein, jene Erweiterung bis zur Gicht hin

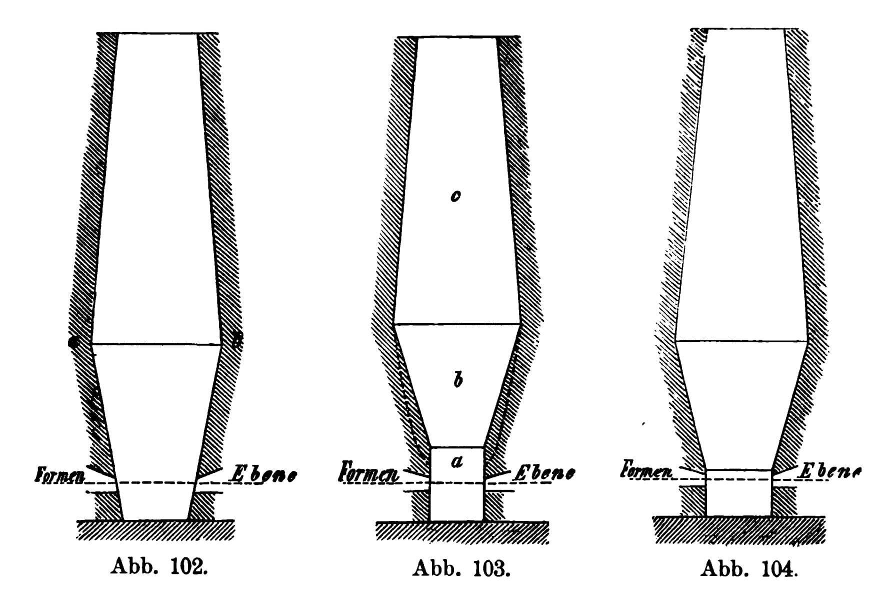


Abb. 102. Abb. 103. Abb. 104.

fortzuführen, d. h. dem Ofen bis obenhin Trichterform zu geben. Auch noch andere Nachteile würden dadurch entstehen. Die Reibung der festen Körper an den Ofenwänden würde in dem trichterförmigen Ofen verstärkt werden, und mit der Reibung würden die daraus hervorgehenden, oben geschilderten Nachteile wachsen. Der Ofengang würde noch weniger befriedigend ausfallen als bei zylindrischer Form. Aus diesen Gründen darf nur der untere Teil des Ofens Trichterform erhalten; die obere Begrenzung des Trichters, also die weiteste Stelle des Ofens, mufs da liegen, wo der Beginn der Sinterung zu erwarten ist Von hier an aufwärts bis zur Gicht pflegt man, auf den gewonnenen Erfahrungen fufsend, den Ofen sich wieder etwas verengen zu lassen, um die Reibung der Schmelzsäule an den Wänden zu verringern und Stauungen beim Niedergange zu vermeiden, welche durch jene Reibung veranlafst werden könnten.

---

[1]) „Stahl und Eisen" 1887, S. 167; 1888, S. 121, 337.

So entsteht die in Abb. 102 gezeichnete Urform der Hochöfen, dieselbe Form, welche schon vor Einführung der Roheisendarstellung die zur Gewinnung schmiedbaren Eisens aus Erzen benutzten Schachtöfen (Stücköfen) besessen hatten, und noch heute ist die gleiche Form bei einzelnen Öfen, z. B. manchen Hochöfen in den österreichischen Alpen, in Anwendung. Zwei Kegel, welche mit ihren breiten Grundflächen aneinanderstofsen, bilden das Ofeninnere. Die Ebene *ab*, in welcher der Ofen seinen gröfsten Durchmesser besitzt, heifst der Kohlensack, der Teil zwischen Kohlensack und Formenebene die Rast[1]), der Teil oberhalb des Kohlensacks Schacht (im engeren Sinne), der Teil unterhalb der Formenebene, welcher zur Aufnahme der geschmolzenen Massen dient, der Herd (in einigen Gegenden auch wohl Eisenkasten).

Will man graues Roheisen darstellen, so ist hierfür in Rücksicht auf die erforderliche Reduktion von Silicium und auf die gröfsere Strengflüssigkeit der Beschickung eine höhere Temperatur im Schmelzraume des Hochofens unmittelbar über den Formen erforderlich als für Weifseisendarstellung. In jetziger Zeit erzielt man diese hohe Temperatur allgemein durch Anwendung hoch erhitzten Gebläsewindes; aber die Anwendung dieses Mittels ist eine Erfindung des 19. Jahrhunderts, und die Vorrichtungen dazu wurden erst allmählich vervollkommnet. Der gleiche Zweck läfst sich — obschon in weniger befriedigender Weise — erreichen, wenn man jene Erweiterung des Ofens nach obenhin nicht schon vom Boden ab, wie in Abb. 102 beginnen läfst, sondern den engeren Durchmesser bis zu einer gewissen Höhe oberhalb der Formen beibehält. (Abb. 103). Je enger der Querschnitt dieses unteren Teiles ist, desto rascher ziehen die Gase hindurch, desto weniger Wärme geben sie innerhalb dieses Querschnitts ab, desto weniger abgekühlt verlassen sie ihn. Ein solcher Ofen besteht demnach aus drei Teilen. Zu unterst, den Verbrennungsraum bildend, findet sich das Gestell *a*, zylindrisch (bei älteren Öfen vierseitig-prismatisch) geformt oder nur schwach nach oben sich erweiternd, eng im Durchmesser und nach unten wieder in dem Herde endigend; auf das Gestell setzt sich als Mittelstück die nach oben sich stark erweiternde Rast *b*; den oberen Teil des Ofens bildet der Schacht *c*.

Vor Einführung der Winderhitzung waren solche engen und hohen Gestelle allgemein üblich, wo man graues Roheisen erzeugen wollte (Abbildungen solcher Hochöfen aus früherer Zeit sind unten gegeben), und auch für Weifseisendarstellung hielt man vielfach die Anordnung eines eigentlichen Gestells — obschon niedriger und im Durchmesser weiter als für Graueisendarstellung — für zweckmäfsig. Je enger und höher aber das Gestell ist, desto gröfser ist auch die Gasspannung daselbst und desto gröfser die erforderliche Arbeit zur Verdichtung des einzublasenden Windes. Mit Recht hat man deshalb ein enges und hohes Gestell einem Hemmschuh

---

[1]) Die Benennung Rast ist aus der Anschauung hervorgegangen, dafs die niederrückenden Erze hier auf der schiefen Ebene längere Zeit verweilen — rasten — müfsten, um der Einwirkung der Gase besser preisgegeben zu werden. In Schriften aus dem 18. Jahrhunderte begegnet man häufig dieser Meinung.

verglichen, welcher einem Wagen auf ebener Strafse angelegt wird[1]); man erhöht entweder die erforderliche Arbeit zur Fortbewegung des Wagens, d. i. zum Betriebe des Hochofens, oder man verlangsamt die Bewegungsgeschwindigkeit, d. h. man verringert die Erzeugungsfähigkeit des Hochofens. Aufserdem schmelzen, wie die Erfahrung lehrt, die umgebenden Teile des Gestells und der Rast um so leichter weg, je enger der Ofendurchmesser an jenen Stellen ist, wie durch Punkte in Abb. 103 angedeutet ist; der Ofen erweitert sich also rasch. Daher wurden die Gestelle auch der für Graueisendarstellung bestimmten Hochöfen immer niedriger und im Durchmesser weiter, auf je höhere Temperaturen man den Wind zu erhitzen lernte, und in jetziger Zeit pflegt man in der Wahl der Hochofenform keinen Unterschied zu machen, ob der Ofen für Grau- oder Weifseisendarstellung bestimmt ist, sondern in dem nämlichen Ofen je nach Bedarf beide Roheisengattungen zu erzeugen. So entwickelte sich seit der Mitte des 19. Jahrhunderts die Form der Hochöfen, welche in Abb. 104 dargestellt ist: die Rast beginnt entweder schon bei der Formenebene oder wenig darüber.

Scharfe Übergänge in dem Ofenprofile können jedoch Veranlassung zu Ungleichmäfsigkeiten in dem Niedergange der Schmelzstoffe geben. Aus der Erwägung dieses Umstandes ist die in Abb. 105 auf folgender Seite dargestellte jetzt sehr übliche Hochofenform hervorgegangen[2]). Als vermittelndes Glied zwischen Rast und Schacht ist ein Zylinder eingeschaltet, dessen Höhe mitunter nur einige Dezimeter beträgt, jedoch auch bisweilen einen ziemlich beträchtlichen Teil der Gesamthöhe ausmacht. Da dieser Zylinder, wie der Kohlensack der bisher besprochenen Ofenformen, den weitesten Teil des ganzen Ofens bildet, nennt man ihn ebenfalls Kohlensack.

In weiterer Verfolgung des Bestrebens, scharfe Übergänge in den Linien des Ofenprofils zu vermeiden, gelangt man dahin, dem Ofeninnern kurvenförmige Begrenzungen zu geben (Abb. 106), welches Verfahren vermutlich häufiger in Anwendung wäre, wenn nicht die Herstellung der für den Aufbau eines solchen Ofens erforderlichen passenden Steine mit gröfseren Schwierigkeiten als bei geradliniger Begrenzung verknüpft wäre.

Eine allmähliche Zusammenziehung des Ofenschachts nach der Gicht zu, wie bei den hier besprochenen Ofenformen, erleichtert, wie erwähnt, das gleichmäfsige Niedergehen der „Gichten", d. h. der in die Gicht eingeschütteten Schmelzstoffe, und zugleich die Bedienung der Gicht selbst. Ein Übermafs in dieser Beziehung ruft jedoch andere Übelstände hervor. Ein enger Gichtdurchmesser erhöht die Gasspannung im Ofeninnern, wodurch eine verstärkte Arbeit der Gebläsemaschine erforderlich wird; eine zu starke Neigung der Seitenwände hat eine rasche Ausbreitung der Gichten

[1]) E. Schinz, Studien über den Hochofen, S. 80.

[2]) Die Abbildung zeigt ein etwas zu hohes Gestell. Bei den Öfen der Jetztzeit hat der untere Teil die gleiche Form wie der Hochofen Abb. 104, und nur der zwischen Blatt und oberem Schacht eingeschaltete Zylinder bedingt den Unterschied.

bei ihrem Niedergange zur Folge, welche leicht eine Auflockerung an den Wänden, also gerade da, wo eine dichtere Lagerung erwünscht ist, veranlafst und somit das Gegenteil des beabsichtigten Erfolges bewirkt. Nachdem diese Nachteile einer zu engen Gicht, insbesondere die dadurch hervorgerufene Beschränkung der Roheisenerzeugung eines Ofens, mehrfach beobachtet, die Vorteile weiterer Gichten erkannt worden waren, gab man auf einzelnen Werken die übliche Kegelform des oberen Schachts auf und ging zu einer zylindrischen Form über, wodurch dann die in Abb. 107 veranschaulichte Ofenform entstand. Die Erfahrung hat jedoch, wie schon erwähnt, gelehrt, dafs eine schwache Zusammenziehung des

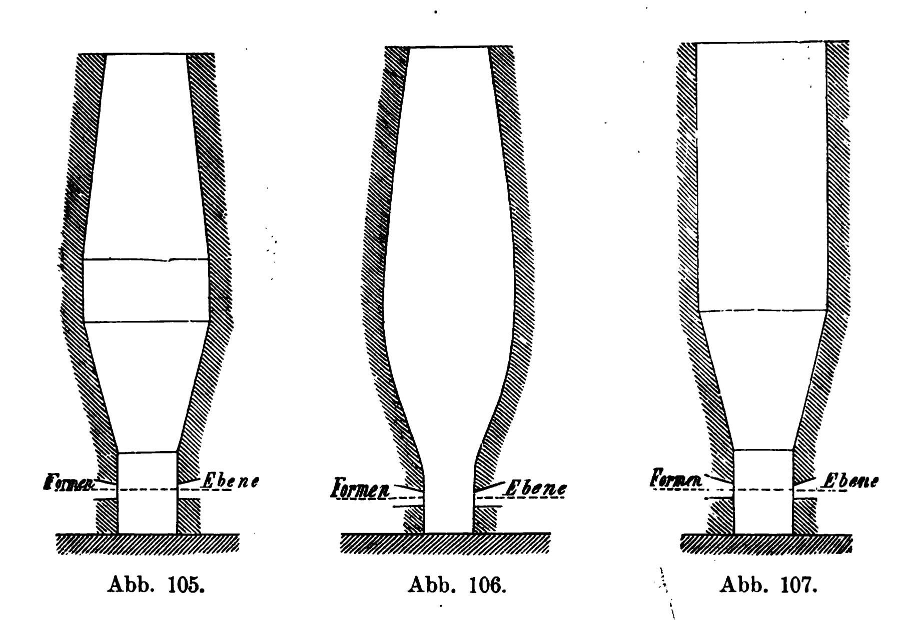


Abb. 105. Abb. 106. Abb. 107.

oberen Schachts nach der Gicht zu für das gleichmäfsige Niederrücken der festen Körper von Nutzen ist, und jene Ofenform ist daher selten geblieben.

Auch die Einrichtung des **Herdes**, jenes unterhalb der Windformen befindlichen Sammelraums für Roheisen und Schlacke, bedingt einen Unterschied in der inneren Form der Hochöfen.

Bei einer Gruppe von Hochöfen, welche man **Hochöfen mit geschlossener Brust** nennt, ist der Herd, wie Abb. 108 erkennen läfst, ringsum geschlossen; in der Umfassung, unmittelbar über dem Boden, ist an einer geeigneten Stelle eine ausreichend grofse Öffnung zum Ablassen des Roheisens angebracht, der **Roheisenstich** oder das **Stichloch**, welche durch Sand oder feuerfesten Ton geschlossen gehalten und nur von Zeit zu Zeit geöffnet wird, wenn das „Abstechen“ des Roheisens vor sich gehen soll. An einer höher gelegenen Stelle, etwas unterhalb der Formenebene

und gewöhnlich an einer anderen Seite des Ofens als der Eisenstich, befindet sich eine zweite, kleinere Öffnung, die **Schlackenöffnung** oder der **Schlackenstich**, durch welche man die gebildete Schlacke entweder ununterbrochen abfliefsen läfst oder von Zeit zu Zeit absticht. Die Lage dieser Schlackenöffnung bezeichnet also die Höhe, bis zu welcher überhaupt die geschmolzenen Massen im Ofen ansteigen können.

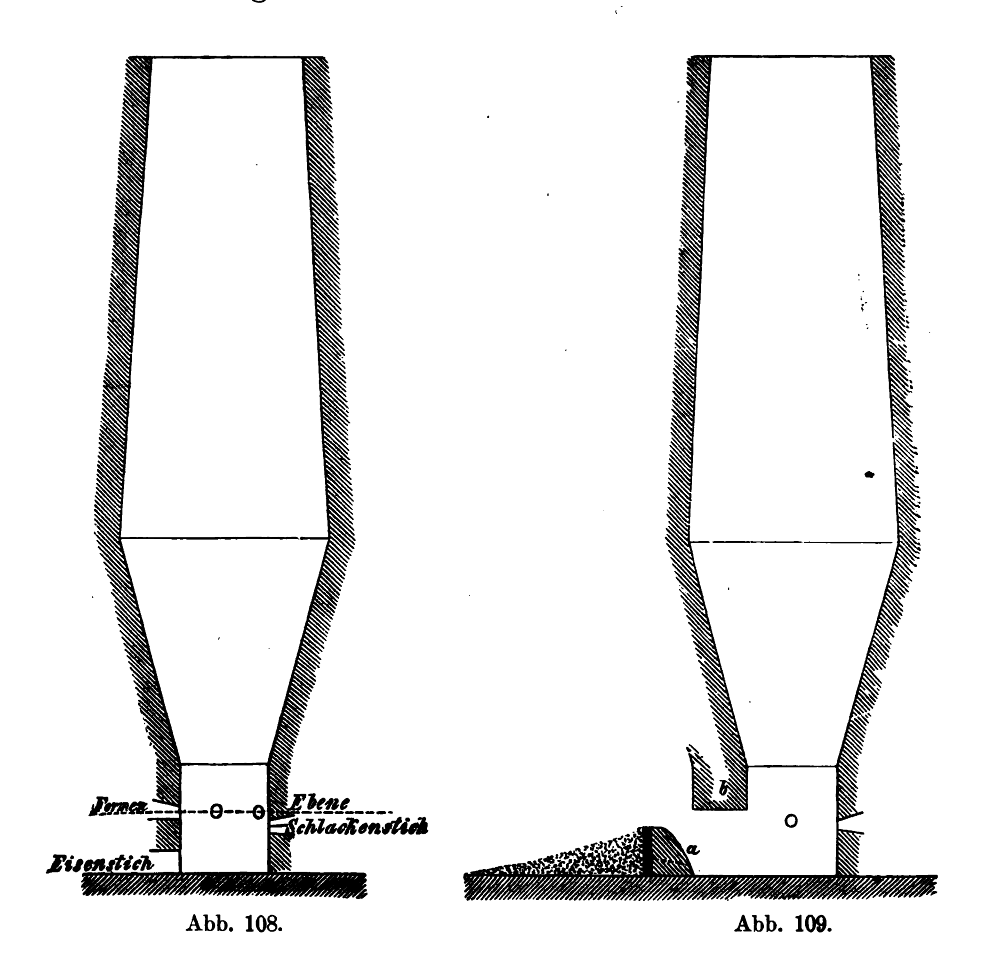


Abb. 108. Abb. 109.

Diese Einrichtung wurde bei den ältesten aller Hochöfen, den schon erwähnten **Blauöfen**, angewendet, und noch um die Mitte des 19. Jahrhunderts nannte man in einzelnen Gegenden diese Öfen mit geschlossener Brust Blauöfen. Das Innere des Gestells und Herdes ist bei diesen Öfen nur durch die engen Windformen und den Schlackenstich zugänglich; die Bildung einer dünnflüssigen Schlacke ist notwendig, damit nicht durch erstarrte Massen Versetzungen im Innern entstehen, welche den Fortgang des Schmelzens

in Frage stellen können und sich nur mit Schwierigkeit beseitigen lassen würden.

Dickflüssige, leicht erstarrende Schlacken entstehen aber vorzugsweise leicht bei dem Betriebe auf Graueisen, welcher, wie schon erläutert wurde, bis zum Beginne des vorigen Jahrhunderts üblicher war als der auf Weifseisen. Es war daher ein vortrefflicher Gedanke eines unserer Vorfahren im Eisenhüttenwesen — kein Gedenkblatt hat seinen Namen verzeichnet —, das Ofeninnere zugänglich zu machen, indem er, wie Abb. 109 zeigt, an der vorderen Seite den Stein *a* herausrückte und zugleich die seitlichen Begrenzungen des Ofenherds so weit nach vorn verlängerte, dafs jener Stein wieder zwischen ihnen seine sichere Stellung fand. Nach wie vor verhindert er das Austreten des Roheisens; aber über seinen Rand hinweg lassen sich jetzt Werkzeuge einführen, um Versetzungen im Innern zu beseitigen. So entstand eine zweite Gruppe der Hochöfen, welche man Hochöfen mit offener Brust nennt; der Stein *a* heifst Wall oder Wallstein. In dem Wallsteine befindet sich an einer Seite das Stichloch für das Roheisen; über seinen oberen Rand hinweg fliefst die Schlacke ab oder wird bei mangelnder Dünnflüssigkeit von Zeit zu Zeit abgezogen. Zugleich dient die in dem vorderen Teile des Herdes befindliche Schlacke als Sperrflüssigkeit, um das Austreten der Gase oder des Gebläsewindes zu verhindern. Bei flüssiger Schlacke (Laufschlacke) pflegt man, wie in der Abbildung angedeutet ist, vor dem Wallsteine an der Seite, wo das Stichloch sich nicht befindet, aus Sand und Kohlenlösche eine schiefe Ebene — die Schlackentrift — aufzustürzen und in dieser eine Gosse auszusparen, in welcher die Schlacke abfliefsen kann.

Damit die flüssige Schlacke nicht bis zu den Windformen ansteige, mufs die Oberkante des Wallsteins bei zähflüssiger Beschaffenheit der Schlacke (Betrieb mit Holzkohlen) ein wenig tiefer, bei dünnflüssiger Schlacke wenigstens nicht erheblich höher als jene liegen. Die im Innern des Ofens herrschende Gasspannung treibt alsdann die Schlacke über den Wallstein hinweg.

Den Stein *b* des Gestellmauerwerks, welcher die Öffnung der Brust von oben abschliefst, nennt man den Tümpelstein. Seine Unterkante mufs ungefähr in gleicher Höhenlage mit der Oberkante des Wallsteins sich befinden oder darf nur wenig höher liegen, damit die Schlacke ihre Aufgabe als Sperrflüssigkeit erfüllen kann und nicht die Gase des Hochofens dennoch unter dem Tümpelsteine hinweg ihren Weg nach aufsen nehmen können.

Die Einrichtung der Öfen mit offener Brust, welche schon gegen Ende des 13. Jahrhunderts erfunden worden sein soll, bewährte sich vortrefflich, und Jahrhunderte hindurch bildeten die Hochöfen dieser Art die Regel, die Öfen mit geschlossener Brust die Ausnahme. Nur wo man aus manganhaltigen Erzen bei dünnflüssiger Schlacke weifses Roheisen erzeugte, wendete man vereinzelt Öfen mit geschlossener Brust an. Die Schlacke liefs man in diesem Falle unmittelbar durch eine Öffnung in einem Steine des Gestells ausfliefsen; hierbei konnte es nicht ausbleiben, dafs jener Stein bald ausgefressen wurde und häufige Auswechslungen

sich erforderlich machten. Schon dieser Übelstand allein bildete ein schwerwiegendes Hindernis für die allgemeine Einführung der geschlossenen Brust.

Auch die offene Brust besitzt jedoch ihre Nachteile. Tümpel- und Wallstein sind Beschädigungen unterworfen und müssen von Zeit zu Zeit ausgewechselt werden, welche Arbeit während des Betriebs nur mit Mühe sich bewerkstelligen läfst; schwerer noch wiegt der Umstand, dafs nach dem Ablassen des Roheisens die Oberfläche der Schlacke im Herde sinkt, die Unterkante des Tümpels frei zu liegen kommt und die Hochofengase darunter hinweg ihren Weg nach aufsen finden würden, sofern man weiter bliese. Um also die Entstehung einer langen, unter dem Tümpel herausschlagenden Flamme zu vermeiden, welche das Arbeiten vor dem Ofen unmöglich machen würde, mufs das Gebläse während des Abstechens zum Stillstand gebracht werden; dann wird der Herd gereinigt, mit Lösche gefüllt, welche einen vorläufigen Verschlufs der Öffnung zu bilden bestimmt ist, und nun erst kann das Blasen wieder beginnen. Diese Unterbrechung des Blasens aber schmälert unmittelbar die Leistung des Ofens und veranlafst eine Abkühlung des Gestells, welche nicht selten Unregelmäfsigkeiten des Schmelzganges zur Folge hat und durch erhöhten Brennstoffaufwand wieder ausgeglichen werden mufs. Mit der im Ofen herrschenden Gasspannung wachsen diese Nachteile; bei sehr hoher Gasspannung kann es geschehen, dafs trotz des Abschlusses durch die flüssige Schlacke Gase unter dem Tümpel ihren Weg durch die Schlacke hindurch nach aufsen nehmen, für den Hochofen verloren gehen und den Aufenthalt vor dem Tümpel unmöglich machen. Die Gasspannung im Ofen aber wächst unter übrigens gleichen Verhältnissen mit dessen Höhe, und bei den Hochöfen mit offener Brust darf deshalb diese Höhe ein nach jetzigen Anschauungen ziemlich beschränktes Mafs nicht überschreiten. Jener Umstand aber, welcher die ursprüngliche Veranlassung zur Einführung der offenen Brust bei Eisenhochöfen gewesen war, fiel mehr und mehr weg, als man anfing, die Hochöfen mit erhitztem Winde zu betreiben. Die Temperatur im Schmelzraume des Ofens stieg; Versetzungen durch erstarrte Massen wurden seltener; die Schlacke wurde stärker überhitzt und dadurch zum freien Abfliefsen befähigter. Vorläufig aber blieb noch der schon erwähnte Übelstand bestehen, dafs die Öffnung im Steine, durch welche bei geschlossener Brust die Schlacke ausfliefsen mufs, durch die Schlacke selbst rasch erweitert wurde. Durch eine von F. W. Lürmann im Jahre 1867 erfundene Einrichtung ist auch dieser Nachteil beseitigt worden. Er kleidete die Öffnung im Steine mit einer durch Wasser gekühlten und dadurch vor rascher Zerstörung geschützten Metallhülse aus, von ihm Schlackenform genannt, durch welche die Schlacke ausfliefst. und welche sich auswechseln läfst, wenn sie schadhaft geworden ist [1]). Ihre Einrichtung ist unten ausführlicher besprochen. Seit dieser Zeit haben in allen Ländern, wo man Roheisen erzeugt, die Hochöfen mit geschlossener Brust jene später eingeführten

[1]) Über Erfindung der Schlackenform vergl. „Stahl und Eisen“ 1891, S. 553.

Öfen mit Tümpel- und Wallstein zum gröfseren Teile wieder verdrängt. Eine Veranlassung zur Beibehaltung der letzteren Ofenform liegt nur da vor, wo man durch die Verhältnisse gezwungen ist, strengflüssige, leicht erstarrende Schlacken zu erzeugen, bei Graueisendarstellung mit Holzkohlen aus kieselsäurereichen Erzen und in einigen anderen Fällen.

Der Rauminhalt der Hochöfen.

Von dem Rauminhalte ist unter übrigens gleichen Verhältnissen die Roheisenerzeugung des Hochofens innerhalb eines bestimmten Zeitraumes abhängig. Diese Tatsache bedarf keines Beweises. Je gröfser der Rauminhalt ist, desto mehr Erze, Zuschläge und Brennstoffe können innerhalb der gleichen Zeit vorbereitet, geschmolzen, verbrannt werden. Während daher im Anfange des vorigen Jahrhunderts, solange der Roheisenbedarf noch verhältnismäfsig gering war, die meisten der mit Holzkohlen betriebenen Hochöfen nicht mehr als 6 bis 10 cbm, die damals erst im Entstehen begriffenen Kokshochöfen selten mehr als 50 cbm Inhalt besafsen, steigerte man mit der Zunahme des Bedarfs an Roheisen mehr und mehr den Fassungsraum der Hochöfen. Da diese Zunahme des Roheisenbedarfs vorzugsweise durch die Einführung der Eisenbahnen veranlafst wurde, zeigt sich jenes Wachstum der Ofengröfse vorzugsweise von dem Jahre 1830 an. In den fünfziger Jahren gab man neuerbauten Kokshochöfen bereits einen räumlichen Inhalt von 110 bis 150 cbm; 1860 gab es in Schottland und Wales Öfen mit einem Inhalte bis zu 230 cbm; 1861 wurden zu Thornaby drei Hochöfen mit einem Rauminhalte von je 362 cbm errichtet; 1864 steigerte man bei den Hochöfen zu Southbank den Rauminhalt auf 450 cbm, 1866 bei den Hochöfen zu Tees-Side auf 566 cbm, 1867 in Norton auf 736 cbm, 1868 in Middlesborough auf 815 cbm und 1870 in Ormsby auf 1165 cbm.

Eine fernere Steigerung der Gröfse der Hochöfen hat nicht stattgefunden. Nicht immer wuchs die Erzeugungsfähigkeit der Hochöfen in gleichem Mafse mit ihren Rauminhalte. Mit der Gröfse des Ofens nehmen die Widerstände zu, welche die aufsteigenden Gase beim Durchdringen der Schmelzsäule finden; eine Erhöhung der Windspannung aber, durch welche jene Widerstände überwunden werden müssen, ist nicht immer in dem gleichen Mafse tunlich. Die Einrichtung der Gebläse wird schwieriger, die Windverluste werden gröfser, der Arbeitsverbrauch zur Lieferung der gleichen Windmenge steigt. Der gröfsere Ofen bekommt alsdann im Verhältnisse zu seinem Rauminhalte weniger Wind als der kleinere, und in dem gleichen Verhältnisse wird weniger Brennstoff verbrannt und weniger Roheisen erzeugt.

Auch die durch Vergröfserung eines kleinen Ofens erreichbare Verringerung des Brennstoffverbrauchs für Erzeugnng einer bestimmten Menge Roheisen mufs immer unbedeutender werden, je gröfser der Ofen bereits war. Wenn im allgemeinen in einem gröfseren Ofen die Wärme sich günstiger als in einem kleineren ausnutzen läfst, so mufs doch dieser Unterschied um so mehr ab-

nehmen, je näher der wirkliche Brennstoffverbrauch dem theoretisch erforderlichen bereits liegt. Mit der Gröfse des Ofens aber steigern sich die Anlage-, Unterhaltungs- und Betriebskosten. Die gröfsere Ofenhöhe bedingt eine vermehrte mechanische Arbeit zum Hinaufschaffen der Schmelzstoffe und zur Verdichtung der Gebläseluft. Es mufs ein Mafs der Ofengröfse geben, dessen Überschreiten mehr Nachteil als Nutzen bringt. Auf dem europäischen Festlande, insbesondere in Deutschland, baut man für den Betrieb mit Koks die Öfen in der Jetztzeit nicht kleiner als 300 cbm und nicht erheblich gröfser als 650 cbm; die meisten nordamerikanischen Hochöfen für den Betrieb mit Koks oder Anthrazit besitzen gleichen Rauminhalt wie die deutschen, einige allerdings bis 750 cbm oder noch etwas darüber[1]); neuere Hochöfen im Clevelandbezirke haben 850 cbm, selten weniger als 600 cbm Inhalt[2]).

Zum Teil mufs der Rauminhalt des Ofens von der Beschaffenheit des zur Verwendung stehenden Brennnstoffs abhängig sein. Je leichter verbrennlich und je kleinstückiger dieser ist, desto leichter wird er schon im oberen Teile des Hochofens durch das in dem aufsteigenden Gasstrome enthaltene Kohlendioxyd verbrannt (S. 49 I), ohne seine Aufgabe im Hochofen erfüllt zu haben, desto weniger ist eine lange, ausgedehnte Berührung mit dem Gasstrome erspriefslich, bei desto kleineren Abmessungen wird die Grenze erreicht, wo eine fernere Vergröfserung keinen Nutzen mehr bringt, insbesondere nicht mehr zur Ersparung an Brennstoff beizutragen vermag. Daher baut man Holzkohlenhochöfen selten gröfser, als mit 100 cbm Inhalt; die meisten europäischen Holzkohlenhochöfen sind erheblich kleiner. Verhältnismäfsig grofse Holzkohlenhochöfen finden sich in Nordamerika und am Ural. Der gröfste der jetzigen Holzkohlenhochöfen wurde 1898 zu Vares in Bosnien erbaut; sein Inhalt beträgt 182 cbm[3]).

Auch die Beschaffenheit der zu verhüttenden Erze spricht hierbei mit. Feinstückige, dichtliegende Erze lassen die Anwendung niedrigerer und deshalb auch ihrem Rauminhalte nach kleinerer Öfen zweckmäfsig erscheinen; für grobstückige Erze, welche den Gasen leichter als jene Durchgang gewähren, sind gröfsere Öfen geeigneter.

Die inneren Abmessungen der Hochöfen.

Auf S. 34 bis 40 wurden verschiedene Anordnungen der inneren Form der Hochöfen beschrieben. Unmöglich ist es, eine einzige Form als die unter allen Umständen geeignetste zu bezeichnen. Verschiedene Hochofenformen können unter übrigens gleichen Verhältnissen gleich befriedigende Erfolge liefern. Ein und derselbe Hochofen bleibt, auch wenn durch fortgesetzten Betrieb seine inneren Abmessungen sich erheblich verändert haben,

---

[1]) Zwei zu Youngstown in Nordamerika im Jahre 1898 erbaute Hochöfen haben etwa 800 cbm Inhalt (aus Iron Age vom 21. Dez. 1899 in „Stahl und Eisen“ 1900, S. 141).

[2]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1887, I, S. 95; 1894, I, S. 78.

[3]) „Stahl und Eisen“ 1902, S. 490; sonstige Beispiele: „Stahl und Eisen“ 1896 S. 351; 1901, S. 110.

doch oft noch lange Zeit gleich gut als im Anfange benutzbar. Immerhin aber müssen die gegenseitigen Verhältnisse der Abmessungen eines Hochofeninnern, wie sich zum Teil schon aus den früheren Mitteilungen ergibt und durch die Erfahrungen des Betriebs bestätigt wird, innerhalb gewisser Grenzen liegen, wenn befriedigende Erfolge erreicht werden sollen.

Verhältnis zwischen Durchmesser und Höhe der Öfen. Sowohl durch eine allzu beträchtliche Höhe des Hochofens im Verhältnisse zum Ofendurchmesser (im Kohlensack) als umgekehrt durch einen zu reichlichen Durchmesser bei gegebener Ofenhöhe werden nachteilige Einwirkungen auf den Schmelzgang hervorgerufen. Bei engem Durchmesser und grofser Höhe sind die Widerstände, welche die Gichten bei ihrem Niedergange und die Gase bei ihrem Aufsteigen finden, beträchtlicher; eine höhere Windspannung ist erforderlich, um die gleiche Menge Wind als bei einem niedrigen Ofen einzuführen, und diese stärkere Windspannung kann nur durch vermehrte Arbeit der Betriebsmaschine hervorgebracht werden. Ist der Ofen aber zu weit, so treten die Unregelmäfsigkeiten stärker hervor, welche der Niedergang der Schmelzstoffe durch ihre Reibung an den Wänden erleidet. In der Mitte des Ofenquerschnitts, wo diese Reibung nicht stattfindet, findet ein starkes Voreilen der Körper statt. Die dichteren Bestandteile der Schmelzsäule, die Erze, rollen nach der Mitte hin, hier sich anhäufend und den Gasen den Durchgang erschwerend, die Kohlen bleiben an den Wänden. Die gleichmäfsige Einwirkung der Gase auf die Erze wird dadurch beeinträchtigt. Je gröfser der Ofenquerschnitt ist, desto stärker eilen die in der Mitte befindlichen Körper voran, desto dichter liegen sie in der Mitte, desto leichter werden dadurch Störungen des regelmäfsigen Schmelzgangs veranlafst.

Auf Erfahrung fufsend, wählt man das Verhältnis der Höhe zum Kohlensackdurchmesser niemals kleiner als 3 und bei europäischen Öfen gewöhnlich nicht gröfser als 4,5; doch ist man bei einigen neueren Öfen, zumal in Nordamerika, bis auf 5 gegangen. Für den Brennstoffverbrauch ist eine schlanke Form des Hochofenprofils (grofse Höhe bei geringem Durchmesser) eher günstig als nachteilig; bei Hochöfen, in welchen ausschliefslich Weifseisen dargestellt werden soll, sind grofse Durchmesser weniger nachteilig als bei solchen für Graueisendarstellung. Die gröfsten bis jetzt gebauten Hochöfen haben 32 m Höhe bei 9,5 m Kohlensackdurchmesser, die meisten der jetzt bestehenden Kokshochöfen 20 bis 25 m Höhe bei 5 bis 6,5 m Durchmeser.

Gichtdurchmesser. Der Einflüsse, welche durch eine zu enge wie durch eine zu weite Gicht auf den Schmelzgang ausgeübt werden, ist bereits oben gedacht worden. In den meisten Fällen verhält sich der Kohlensackdurchmesser zum Gichtdurchmesser annähernd wie 1,4 : 1.

Rastwinkel und Lage des Kohlensacks. Je steiler der Rastwinkel ist, desto allmählicher findet der Übergang zwischen der weitesten und engsten Stelle des Ofens, dem Kohlensack und der Formenebene, statt, desto gleichmäfsiger wird im allgemeinen der Niedergang des Schmelzofens sich vollziehen. Man gibt daher

neueren Hochöfen Rastwinkel von mindestens 70 Grad, häufig von 75 Grad oder etwas darüber. Von der Gröfse des Rastwinkels und der Höhenlage jener Stelle, wo die Rast an das Gestell sich anschliefst, hängt die Höhenlage des Kohlensacks ab. Gewöhnlich beträgt diese Höhe über dem Boden annähernd $^1/_8$ der ganzen Ofenhöhe; schaltet man zwischen der Rast und dem oberen Schachte einen zylindrischen Kohlensack ein (Abb. 105 auf S. 37) ein, so bezieht sich jene Abmessung auf dessen untere Begrenzung. Eine erheblich höhere Lage des Kohlensacks würde dem regelmäfsigen Verlaufe des Hochofenschmelzens nicht günstig sein.

Dafs übrigens auch ganz flache, tellerartige Rasten, welche noch in den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts auf mehreren Eisenwerken des Harzes seit alters her üblich waren und vielleicht jetzt noch hier und da zur Anwendung kommen (Abb. 110), unter Umständen ganz gute Erfolge geben können, ist unschwer erklärlich. Auf der flachen Rast baut sich, wie durch die schräge Strichlage in der Skizze angedeutet ist, aus Kohlen ein toter Mantel auf, innerhalb dessen die Schmelzsäule niedergleitet; es entsteht eine natürliche Rast, deren Form von der Beschaffenheit der Ofenfüllung abhängig ist und gerade deshalb dem Zwecke recht wohl entsprechen kann. Am wenigsten gut haben sich mittelsteile Rasten (40 bis 60 Grad) bewährt, welche um die Mitte des vorigen Jahrhunderts ziemlich üblich waren.

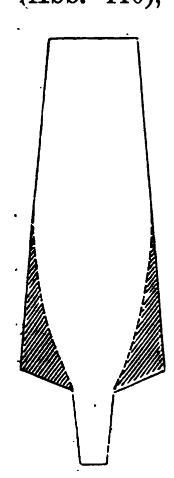


Abb. 110.

Durchmesser des Ofens vor den Formen; Höhe des Gestells. Die Nachteile eines zu engen und hohen Gestells wurden bereits oben besprochen. Mit je gröfserer Geschwindigkeit (Spannung) der Wind in den Ofen geführt wird, desto weiter kann der Ofendurchmesser in der Formenebene sein. Bei den meisten Öfen findet man das Verhältnis des Ofendurchmessers in der Formenebene zu dem Kohlensackdurchmesser wie 1 : 1,6 bis 1 : 2; engere Durchmesser als in dem Verhältnisse 1 : 2 würden eine Beeinträchtigung der Leistung des Ofens herbeiführen. Selten geht auch bei den grofsen Öfen der Durchmesser über 4,25 m hinaus.

Bei der Mehrzahl der jetzigen Hochöfen beginnt die Rast unmittelbar oder in geringer Höhe über der Formenebene, wie schon erwähnt wurde; in der Regel beträgt die Gesamthöhe des Gestells vom Boden ab ungefähr $^1/_{10}$ bis $^1/_8$ der ganzen Ofenhöhe.

Anordnung und Zahl der Windformen. Von der Höhe der Formen über dem Boden ist bei gegebenem Durchmesser des Ofenherdes die Menge des Roheisens abhängig, welche angesammelt werden kann, ehe zum Abstiche geschritten wird; aber für die Vorgänge im Hochofen selbst, Reduktion und Schmelzung, geht diese Höhe verloren, und je höher die Formen liegen, desto schwieriger ist es, den Boden des Herdes genügend warm zu erhalten, damit nicht das angesammelte Roheisen teilweise erstarre. Je gröfser die Erzeugung des Hochofens ist, desto höher können

die Formen liegen; bei Weifseisendarstellung deshalb im allgemeinen höher als beim Betriebe auf Graueisen oder Eisenmangan; bei Öfen mit geschlossener Brust höher als bei solchen mit offener Brust. Bei den meisten gröfseren Hochöfen findet man diese Abmessung zwischen 1,5 bis 2,5 m, bei kleinen Öfen für Holzkohlenbetrieb und mit offener Brust bisweilen nicht über 0,5 m.

In alter Zeit, selbst noch in der Mitte des neunzehnten Jahrhunderts, waren Holzkohlenöfen mit einer einzigen Windform nicht selten. Mit dem Ofendurchmesser aber mufs die Zahl der Windformen zunehmen. Man befördert durch Verteilung des Windes auf mehrere Formen die Gleichmäfsigkeit der Verbrennung innerhalb des Ofenquerschnitts, und man beschleunigt die Verbrennung, indem man die Oberfläche des eintretenden Windes vergröfsert, also die Berührung mit dem Brennstoff erleichtert. Der Raum, wo noch freier Sauerstoff oder Kohlendioxyd, das im ersten Augenblicke gebildet sein könnte, sich finden, wird durch Anwendung von mehreren Formen auf engere Grenzen beschränkt. Ein rasches Verschwinden allen freien Sauerstoffs und des Kohlendioxyds ist für einen gedeihlichen Verlauf des Hochofenschmelzganges unerläfslich.

Aus diesem Grunde wendet man in der Jetztzeit auch bei den kleinsten Hochöfen mindestens zwei, häufiger drei Windformen an; bei gröfseren Öfen findet man sechs bis zwölf Formen, vereinzelt noch darüber[1]). Eine Grenze für die Vermehrung der Formen ist durch den Umstand gegeben, dafs die Durchbrechung der Gestellwand durch die Formöffnung immerhin eine Schwächung ihrer Standfestigkeit zur Folge hat; mit anderen Worten, dafs zwischen den einzelnen Formen ein ausreichend breiter Mauerpfeiler zum Tragen der darüber befindlichen Teile bleiben mufs, und dafs der Raum rings um das Gestell herum durch allzu viele Düsenständer, welche den Formen den Wind zuführen, leicht beengt wird. Man erhält in den meisten Fällen eine passende Zahl, wenn man den Öfen so viel Öffnungen gibt, als der Umfang des Ofeninnern innerhalb der Formenebene in Metern beträgt (also z. B. bei einem Durchmesser von 3 m oder $3 \times 3{,}14 = 9{,}42$ m Umfang 9 bis 10 Öffnungen. Eine dieser Öffnungen bleibt für die Schlackenform (S. 40), sofern man diese nicht unter eine der Windformen legen will, oder für die Brustöffnung bei den Öfen mit Tümpel- und Wallstein.

Nicht ohne Belang ist auch die Anordnung der Formen gegeneinander. Die einfachste und für die Gleichmäfsigkeit der Windverteilung vorteilhafteste Anordnung würde sich zwar ergeben, wenn sie alle in gleichem Abstande voneinander sich befänden; die Rücksicht auf die äufseren Teile des Hochofens, sowie auf die Lage des Herdes und Wallsteins bei offener Brust gestattet jedoch

---

[1]) Einige nordamerikanische Hochöfen sind mit je 20 Windformen versehen („Stahl und Eisen“ 1897, S 293; 1902, S. 74). Ob diese ungewöhnlich grofse Zahl sich bewährt hat, ist nicht bekannt geworden. Hochöfen zu Lorain in Ohio haben je 16 Windformen (Profil dieser Öfen in Abb. 120); ebenso viele Formen hat ein Hochofen zu Donawitz („Stahl und Eisen“ 1901, S. 1346).

nicht immer, genau in dieser Weise zu verfahren. Manche Hochofenleute sehen es auch nicht gern, wenn die eine Form genau in der verlängerten Richtung der gegenüberliegenden sich befindet, damit nicht die von entgegengesetzter Richtung gegeneinander treffenden Windströme sich gegenseitig stauen. Der Fall würde eintreten, wenn man eine gerade Anzahl Öffnungen gleichmäſsig in dem Umfange verteilen und die Formen genau radial einlegen wollte. Der Nachteil wird vermieden, wenn man eine ungerade Zahl Öffnungen (drei, fünf, sieben) gleichmäſsig oder eine gerade Zahl ungleichmäſsig verteilt. Die Abb. 111, einen wagerechten Schnitt in der Formenebene eines Hochofens darstellend, kann eine solche Anordnung veranschaulichen. Hier sind sechs Öffnungen *hh* für ebenso viele Windformen angebracht; *i* ist eine siebente Öffnung, welche durch den Tümpel abgedeckt und vorn durch den Wallstein geschlossen wird (offene Brust).



Abb. 111.

Von der Einrichtung der Formen selbst, d. h. der metallenen Hülsen, welche in die Formöffnungen eingesetzt werden, wird später die Rede sein.

Beispiele der inneren Form und Gröſse der Hochöfen.

Um dem Leser ein deutliches Bild der Abweichungen in der Form und den Abmessungen des Hochofeninnern zu geben, sind in den Abb. 112 bis 120 die inneren Umrisse verschiedener im letzten Jahrzehnt erbauter oder neu zugestellter Hochöfen nach gleichem Maſsstabe ($^1/_{333}$) gezeichnet.

Abb. 112 ist ein Holzkohlenhochofen zu Rübeland am Harz. Rauminhalt 35 cbm.

Abb. 113 ist Holzkohlenhochofen Nr. 3 zu Vordernberg in Steiermark, 1895 in Betrieb gesetzt und einer der gröſsten bestehenden Holzkohlenöfen Europas; Rauminhalt 113 cbm. Der obere Teil ist Gasfang.

Abb. 114 ist ein Kokshochofen zu Charlottenhütte im Siegenschen. Rauminhalt 250 cbm.

Abb. 115 ist Kokshochofen Nr. 1 zu Ilsede. Rauminhalt 400 cbm.

Abb. 116 ist ein Kokshochofen zu Georg-Marienhütte. Rauminhalt 420 cbm.

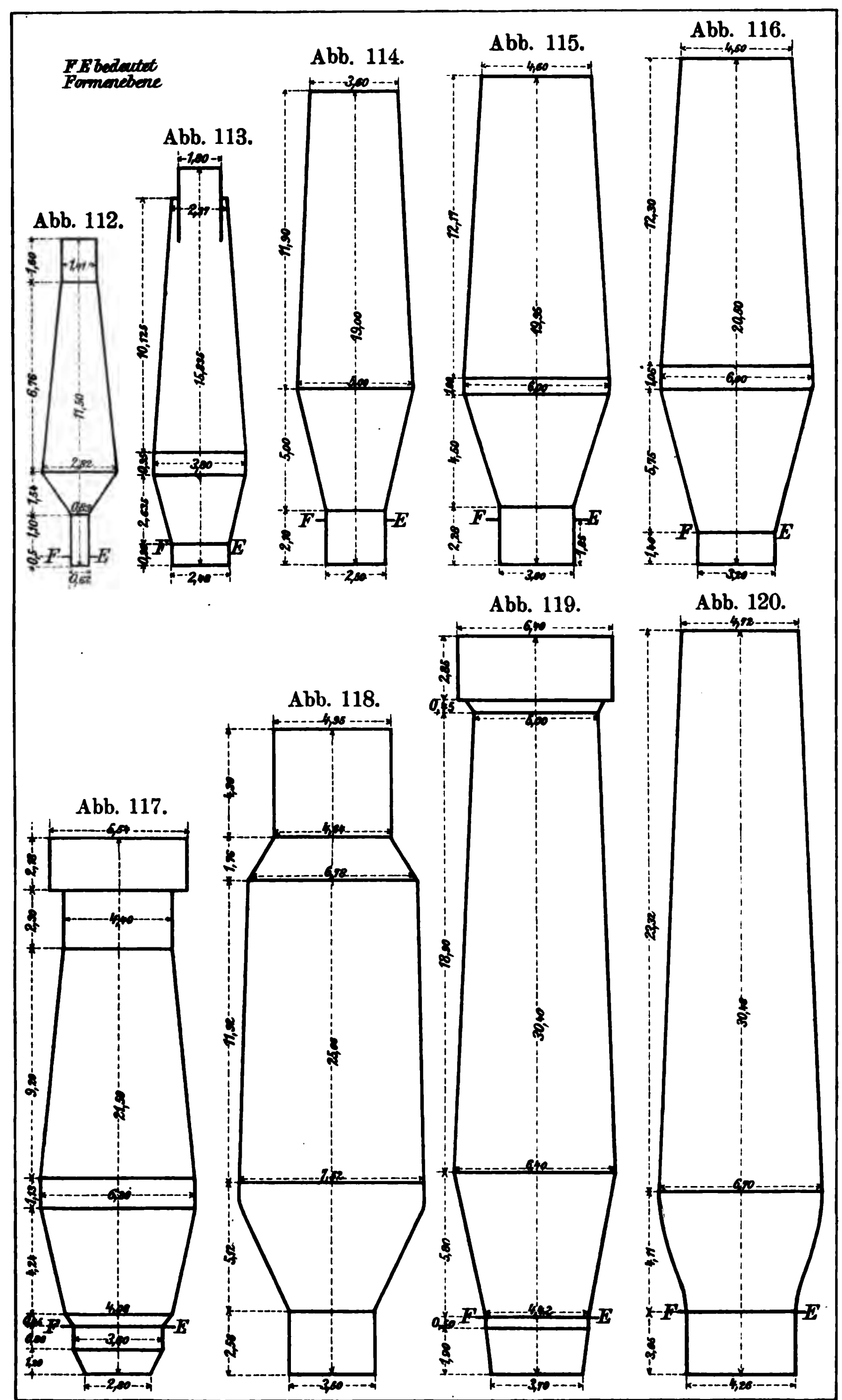
Abb. 117 ist der Kokshochofen Nr. 2 zu Donawitz in Steiermark. Rauminhalt 440 cbm[1]).

Abb. 118 ist Kokshochofen Nr. 6 der Newport Iron Works bei Middlesborough, 1897 angeblasen. Rauminhalt 760 cbm.

Abb. 119 ist ein im Jahre 1901 vollendeter Kokshochofen zu Eisenerz in Steiermark. Rauminhalt 730 cbm.

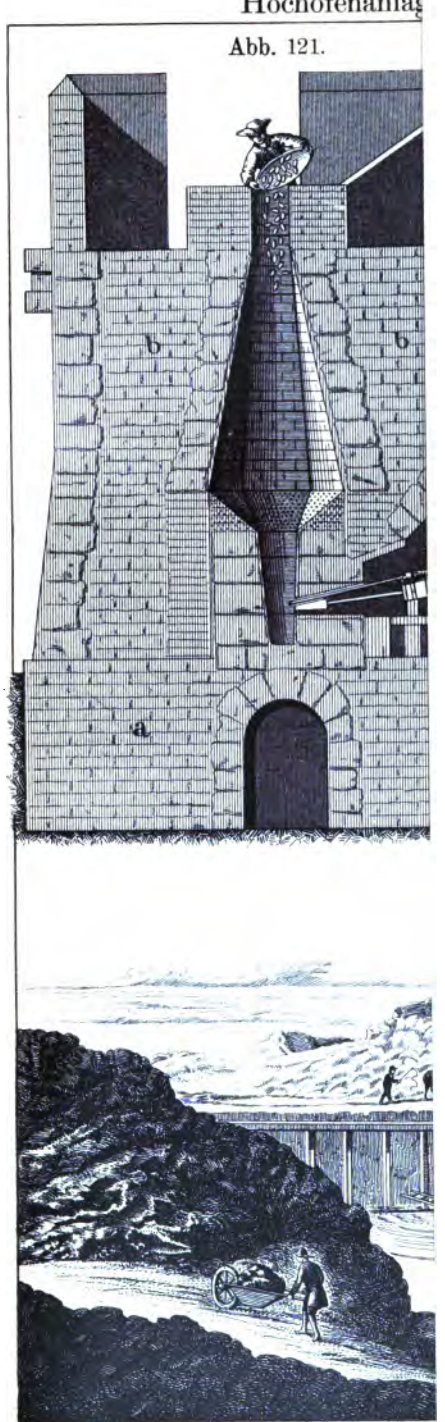
---

[1]) Der Hochofen 1 auf demselben Werk ist unter Abb. 133 dargestellt.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig. Techn.-art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

Hochofenanlag



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Abb. 120 ist ein im Jahre 1899 erbauter Kokshochofen zu Lorain in Ohio. Rauminhalt 750 cbm.

Einige Ergänzungen finden diese Darstellungen durch die unten gegebenen Abbildungen vollständiger Hochöfen.

3. Der Bau der Hochöfen.

Die Entwicklung des Hochofenbaues seit früheren Jahrhunderten bis zur Jetztzeit.

Auf der Überzeugung fufsend, dafs ein Ofen, in welchem eine so beträchtliche Wärmemenge entwickelt wird und eine so hohe Temperatur erzeugt werden mufs wie in dem Eisenhochofen, nur dann seinen Zweck erfüllen könne, wenn er vor Wärmeverlusten an die umgebende Luft tunlichst geschützt sei, umgaben unsere Vorfahren den Hochofen mit einer dichten Hülle von Mauerwerk, in welcher nur die eben erforderlichen Öffnungen für die Zuleitung des Windes und die Wartung der Formen sowie für das Ablassen des Roheisens und der Schlacke ausgespart waren. Die Abbildungen 121 bis 123 zeigen einen solchen Eisenhochofen aus dem Jahre 1716[1]; ähnlich wird die Bauart auch bereits Jahrhunderte früher gewesen sein. Auf dem kräftigen, zum gröfsten Teile seiner Höhe im Erdboden steckenden Unterbau *a* ist das mehrere Meter starke Rauhgemäuer *b* aufgeführt, äufserlich vierseitig und den eigentlichen Ofen umschliefsend. Es hat zwei Durchbrechungen, die eine, in Abb. 121 sichtbar, für die Anbringung der Windleitung, die andere (Abb. 122) für die Herrichtung der offenen Brust. *c* ist der Tümpelstein, *d* der Wallstein. In dieses Rauhgemäuer wurde nun das den Ofen unmittelbar einschliefsende Mauerwerk, aus den Steinen des Schachts, der Rast und des Gestells bestehend, eingesetzt. Die Abbildungen lassen erkennen, dafs der Ofenschacht, ohne die Rast und das Gestell zu belasten, vom Rauhgemäuer und Unterbau getragen wurde. Das Einsetzen der Gestell- und Raststeine erfolgte erst, wenn der Schacht fertig war, wie es heute noch üblich ist.

Zur Herstellung des Schachts und der Zustellung pflegte man Quadersandsteine zu benutzen; dem Querschnitte des Ofeninnern aber gab man vierseitige, häufig rechteckige Form (bei dem abgebildeten Ofen rechteckige mit gebrochenen Ecken). Man erleichterte durch die Wahl des Rechtecks, indem man die einzige Windform an die eine lange Seite verlegte, das Vordringen des nur schwach geprefsten Windes bis zur gegenüberliegenden Wand, was bei der geringen Leistung der damaligen Gebläse nicht ohne Wichtigkeit war.

Die Höhe des abgebildeten Ofens vom Boden bis zur Gichtöffnung beträgt etwa 7 m; die Gicht ist 0,48 und 0,81 m weit, der Kohlensack 2,0 und 2,3 m.

---

[1]) Nach de Réaumurs hinterlassenen Schriften durch Courtisson et Bouchu in dem Werke: Art des forges et fourneaux à fer, section III, Paris 1762, veröffentlicht.

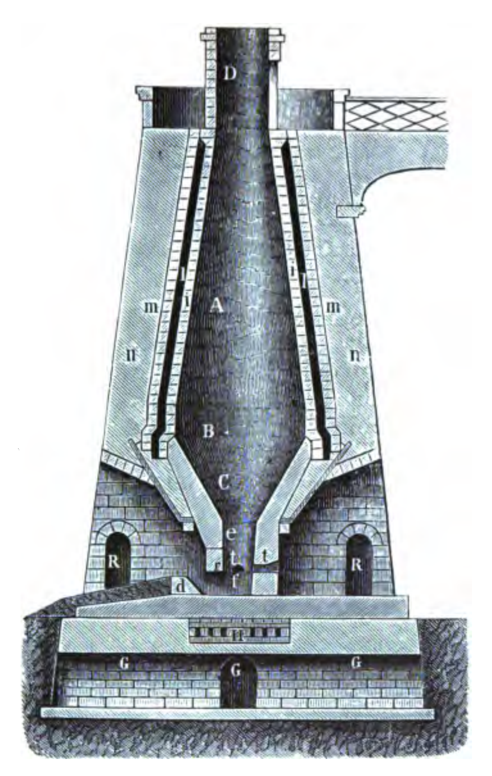


Abb. 124.

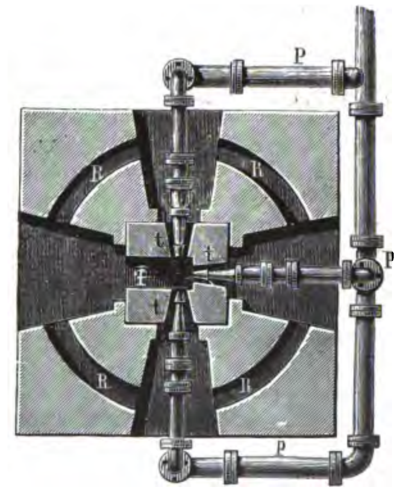


Abb. 125.
Hochofen aus dem Jahre 1850.

In Abb. 123 ist die Anordnung der ganzen Hochofenanlage erkennbar. *h* ist der Hochofen, dessen Arbeitsseite (Wallstein mit dem Roheisenstich) dem Beschauer zugewendet ist. An seiner linken Seite sieht man das durch ein Wasserrad getriebene einfache Gebläse; auf der Anhöhe im Hintergrunde werden durch Maultiere Holzkohlen in Säcken in den Schuppen gebracht, aus welchem sie nach der Gicht des Hochofens befördert werden sollen. Links im Vordergrunde gewahrt man eine ziemlich ansehnliche Schlackenhalde.

Nach denselben Grundsätzen, d. h. unter Anwendung eines starken Rauhgemäuers, in welches Schacht, Rast und Gestell eingesetzt wurden[1]), baute man die meisten Hochöfen bis gegen die fünfziger Jahre des 19. Jahrhunderts. In den Einzelheiten aber machten sich allmählich verschiedene Änderungen bemerkbar. In Abb. 124 und 125 ist ein solcher in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts erbauter Hochofen mit Rauhgemäuer dargestellt[2]). Er ist mit drei Windformen und offener Brust versehen. Auf dem von Kanälen *G* durchzogenen Unterbau wurden mächtige Eckpfeiler errichtet, zwischen denen, wie der Grundrifs Abb. 125 erkennen läfst, die vier Öffnungen für

---

[1]) Letztere Teile, insbesondere die Rast und die Gestellsteine, mufsten nach jedem Ausblasen des Hochofens erneuert werden; das Rauhgemäuer dagegen blieb für viele Jahrzehnte benutzbar.

[2]) Aus B. Kerl, Grundrifs der Eisenhüttenkunde, Leipzig 1875.

die Formen und die Brust ausgespart blieben. Bei Öfen mit nur zwei Formen wurde die dritte Formöffnung an der Rückseite des Ofens vermauert; beabsichtigte man mit mehr als drei Formen zu blasen, so legte man je zwei in eine gemeinschaftliche Öffnung nebeneinander. Ein ringförmiger, innerhalb der Eckpfeiler gelassener Gang *R*, welcher von Öffnung zu Öffnung führte, erleichterte, ohne jedoch gerade unbedingt erforderlich zu sein, bei dem beträchtlichen Umfange des Ofens den Verkehr von Form zu Form. Die vier Eckpfeiler zusammen nannte man Vierpafs.

Je zwei benachbarte Eckpfeiler wurden nun in entsprechender Höhe durch Gewölbe, welche nach aufsenhin anstiegen, oder durch quer hinübergelegte Gufseisenträger, welche treppenartig ebenfalls nach aufsenhin anstiegen, miteinander verbunden, und auf diesen Gewölben oder Trägern ruhte der obere Teil des meistens aus Bruchsteinen aufgeführten Rauhgemäuers *n*. Da es, der Schachtform des Ofens folgend, sich nach oben zu verjüngte, erhielt dieser, wie schon früher, äufserlich die Form einer abgestumpften vierseitigen Pyramide.

Das Rauhgemäuer war zur Ableitung der Feuchtigkeit und zur Verminderung der Entstehung von Rissen bei der Ausdehnung von wagerechten und senkrechten, an der Aufsenfläche mündenden Kanälen durchzogen[1]) und gut verankert. Die Erfahrung lehrte jedoch häufig, dafs bei der Ausdehnung des Rauhgemäuers auch die stärksten Anker rissen, allerdings, ohne dafs in den meisten Fällen die Haltbarkeit des Gemäuers dadurch erhebliche Einbufse erlitten hätte.

Statt des einen in Abb. 121 und 122 erkennbaren Schachts pflegte man später zwei einander umschliefsende Schächte *m* und *i* in das Rauhgemäuer einzusetzen und zwischen ihnen den ringförmigen, nur mit losen Schlackenstückchen oder dergleichen ausgefüllten Raum *l*, die Füllung, frei zu lassen. Man bezweckte hierdurch, der verschiedenen Ausdehnung der inneren und äufseren Steinlagen Rechnung zu tragen, ohne die vermeintlichen Wärmeverluste durch Wärmeabgabe nach aufsen zu vermehren. Auch zwischen dem äufseren Schachte *m* und dem Rauhgemäuer liefs man häufig einen Zwischenraum, damit die Ausdehnung des Schachts bei der Erhitzung nicht durch das Rauhgemäuer behindert werde.

Dafs auch bei dieser Einrichtung beide Schächte vom Rauhgemäuer getragen wurden und unabhängig von der Rast und dem Gestelle blieben, ist in Abb. 124 erkennbar.

Als Baustoff für die Hochofenzustellung benutzte man, solange man mit Holzkohlen arbeitete, nach wie vor gern Quadersandsteine in möglichst grofsen Stücken und gut zusammengefugt. Dem Gestelle gab man in Rücksicht auf die bequemere Herstellung häufig noch vierseitigen Querschnitt, für den Schacht dagegen war allmählich der kreisförmige Querschnitt üblicher geworden.

Wo man jedoch zu dem Betriebe mit Koks überging, ersetzte

---

[1]) Auch unter dem Boden des Gestells brachte man solche Kanäle an, welche mit den in den Eckpfeilern aufsteigenden Kanälen in Verbindung standen. In Abb. 124 sind bei *H* solche Bodenkanäle angedeutet.

man die Sandsteine, welche durch die stark basischen Schlacken dieser Öfen gewöhnlich rasch weggeschmolzen wurden, bald durch Schamottziegeln.

Vereinzelt findet man in Gegenden, wo Holzkohlen ausschliefslich als Brennstoff dienen, noch heute Hochöfen der beschriebenen Bauart, die man als Hochöfen mit Rauhgemäuer und eingebautem Gestell bezeichnen kann, weil dieses, wie erwähnt, nur an den Formöffnungen und vor dem Tümpelsteine freigelegt, übrigens aber von dem Rauhgemäuer umschlossen ist. Durch diese Einrichtung wird zwar die Abkühlung des Gestells von aufsen her nach Möglichkeit vermieden; aber eben deshalb sind die Gestellsteine dem Wegschmelzen leichter unterworfen, und Auswechselungen sind während des Betriebs unmöglich, da das Gestell von aufsen nicht zugänglich ist. Dieser Nachteil trat deutlicher als früher zutage, nachdem durch Einführung der Winderhitzung die Temperatur im Verbrennungsraume der Hochöfen gesteigert war. Man ging deshalb bei vielen Öfen dazu über, das Gestell ringsherum freizulegen, um es der Einwirkung der äufseren Luft zugänglich zu machen und Ausbesserungen auch während des Betriebs zu ermöglichen. Zugleich erlangte man hierdurch bei gröfseren Öfen den Vorteil, in bequemerer Weise als bisher die Formen verteilen zu können. Der Zweck wurde erreicht, indem man die vier Eckpfeiler nicht bis ganz an das Gestell hinantreten liefs; der Schacht ruhte entweder, wie bei den vorher beschriebenen Öfen mit eingebautem Gestell, im Rauhgemäuer, oder er wurde, wie bei dem in Abb. 126 und 127 dargestellten Hochofen, von einem starken Gufseisenringe getragen, welcher auf Säulen ruhte. *aa* (Abb. 127) sind die Säulen, *bb* (Abb. 126) der mit drei aufrechtstehenden Rippen versehene Kranz. Letzterer wird aufserdem noch durch die vier starken, von Pfeiler zu Pfeiler hinübergehenden Trageisen *cc* gestützt. Das obere Rauhgemäuer ruht auf den U-förmigen, in Abb. 126 sichtbaren Gufseisenträgern, deren Enden in die Eckpfeiler des Rauhgemäuers eingelassen sind. Zwischen Rauhgemäuer und Schacht befindet sich eine breite Füllung. Dafs auch bei diesem Ofen die Rast und das Gestell nach dem Ausblasen sich auswechseln lassen, während der Schacht unverändert an seiner Stelle bleiben kann, ist aus Abb. 126 zu ersehen. *d* in Abb. 127 ist der Wallstein.

Die Hochöfen mit Rauhgemäuer sind jedoch, selbst wenn man das Gestell freilegt, schwerfällig und kostspielig; diese Nachteile wachsen mit der Gröfse des Ofens. Als man daher im Anfange der vierziger Jahre des vorigen Jahrhunderts, gedrängt durch die mächtigen Steigerungen des Roheisenbedarfs, anfing, die bis dahin gebräuchlichen Grenzen für den Rauminhalt der Hochöfen beträchtlich zu überschreiten, stellte sich die Notwendigkeit heraus, auch dem Aufbau der Hochöfen eine andere Einrichtung zu geben.

In Schottland war es, wo man in jener Zeit zuerst mit den von alters her überlieferten Regeln brach, das Rauhgemäuer der Hochöfen zunächst auf kleinere Abmessungen beschränkte, dann ganz beseitigte, den Schacht (oder die Schächte) auf einen von Säulen getragenen Gufseisenkranz stellte und nur mit einem Blechmantel einhüllte.

Der Erfolg bestätigte die Berechtigung dieser Mafsnahmen. Die schottischen Hochöfen, wie man sie benannte, waren billiger, haltbarer, für Ausbesserungen auch während des Betriebs zugänglicher; eine merkbare Erhöhung des Brennstoffaufwands oder eine Verschlechterung des Hochofengangs, welche Übelstände jedenfalls von den allermeisten Hochofenleuten erwartet worden waren, stellten sich nicht ein. So breitete sich jene Hochofenbauart allmählich auch in anderen Gegenden aus, obgleich vorsichtige Hochofenleute des Festlandes sich nur schwer und langsam dazu entschliefsen konnten, die ihnen seit der Vorzeit überlieferte Überzeugung von dem wohltätigen Einflusse dicker Wände auf den Hochofengang fallen zu lassen [1]).

Die Bauart eines Ofens dieser Art, welcher gegen Mitte der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts auf einem westfälischen Eisenwerke erbaut wurde, ist durch die Abb. 128 bis 130 veranschaulicht.

Auf den Ständern *aa* ruht der mit aufstehenden

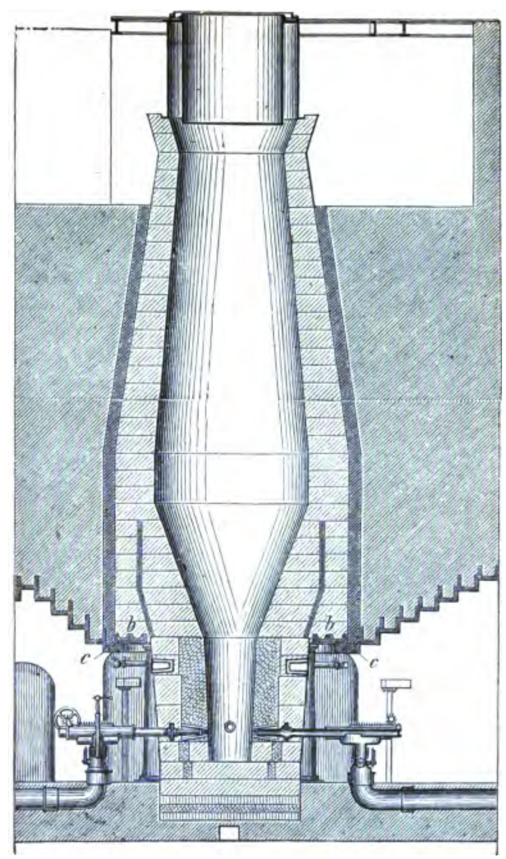


Abb. 126.

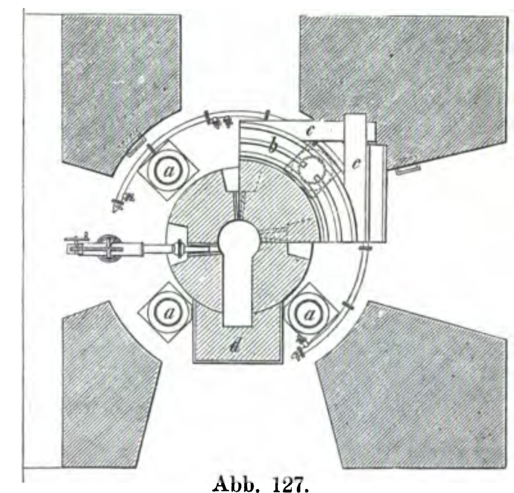


Abb. 127.
Harzer Holzkohlenhochofen aus dem Jahre 1867.

[1]) In Deutschland wurde der erste Hochofen ohne Rauhgemäuer nach schottischem Vorbilde in Hafslinghausen (Westfalen) im Jahre 1855 gebaut (Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1874 S. 615).

Rippen versehene, zum Tragen des Schachts dienende Gufseisenkranz, und an diesem wird der Eisenblechmantel befestigt. Den Kranz giefst man in einzelnen Stücken, welche auf den Säulen zusammenstofsen

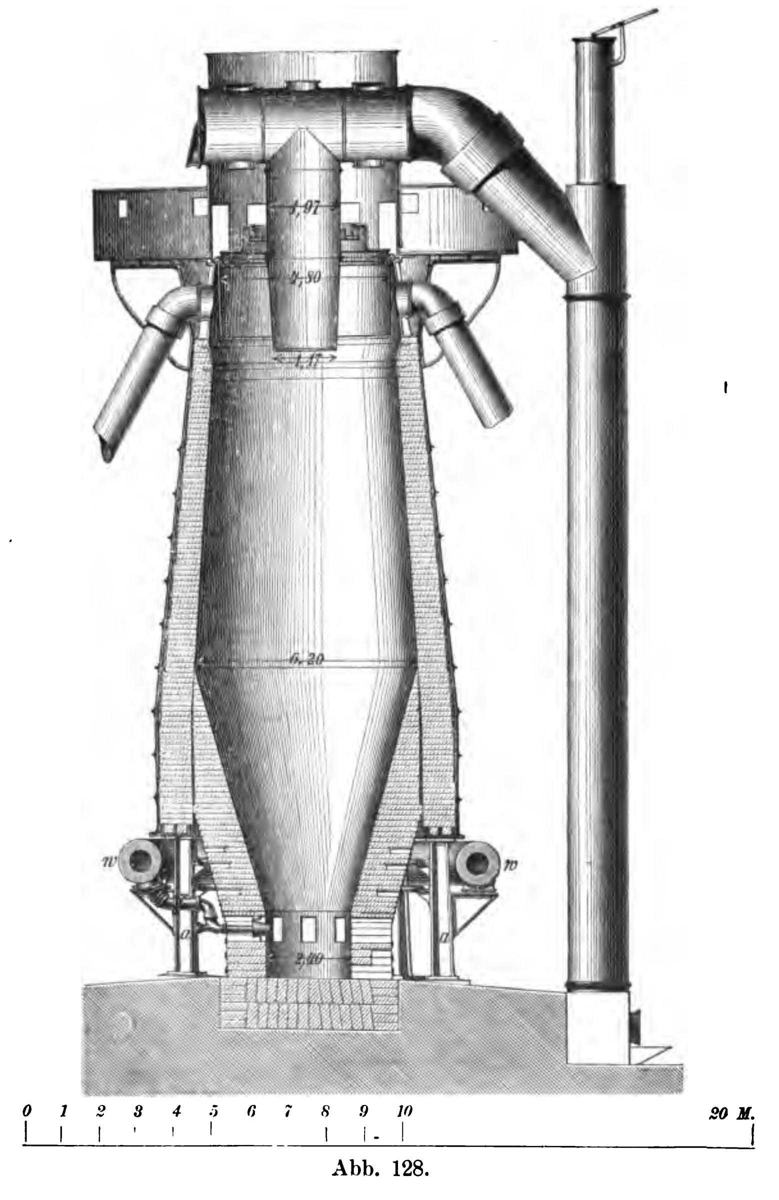


Abb. 128.

und in einfacher Weise, z. B. mit Hilfe angegossener Zapfen an den Enden und warm umgelegter Schmiedeeisenringe, untereinander und mit den Säulen verbunden werden. Der Mantel besteht

aus einzelnen Eisenblechtafeln von 10 bis 20 mm Stärke, welche gewöhnlich vernietet, bei dem abgebildeten Ofen dagegen, wie Abb. 129 erkennen läſst, in den unteren neun Lagen verschraubt sind, damit man imstande sei, während des Betriebes sie einzeln herauszunehmen und etwa erforderliche Ausbesserungen am Mauerwerk vorzunehmen. Jede einzelne Tafel ist zu diesem Ende mit einem aufgenieteten Kranze aus Winkeleisen eingefaſst, so daſs nach auſsen vorstehende Ränder gebildet werden, durch welche die Verbindungsschrauben hindurchgehen.

Zwischen Blechmantel und Schacht muſs wiederum in Rücksicht auf die stärkere Ausdehnung des letzteren ein ausreichend (10 bis 20 cm) breiter Zwischenraum bleiben, der entweder ganz leer gelassen oder mit lockeren Körpern ausgefüllt wird. Ist der Zwischenraum zu schmal, oder liegt die Ausfüllung zu dicht, so ist ein Zerplatzen auch des stärksten Blechmantels die Folge davon.

Bei neueren Öfen dieser Art begnügt man sich mit einem einzigen, entsprechend starken Schachte; bei älteren Öfen waren nicht selten, wie bei den früheren Öfen mit Rauhmauerwerk, zwei Schächte hinter einander und dazwischen eine Füllung angeordnet. Beide Schächte ruhten in diesem Falle auf dem gemeinschaftlichen Tragkranze.

Die Säulen oder Ständer *aa* werden aus Guſseisen oder in neuerer Zeit häufiger aus Eisenblech gefertigt.

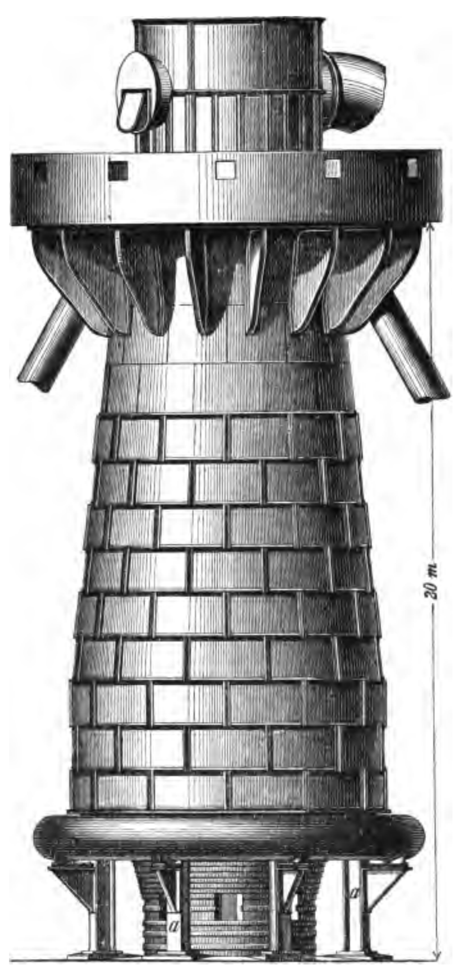


Abb. 129.

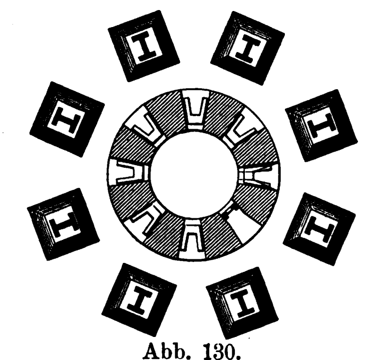


Abb. 130.
Kokshochofen aus dem Jahre 1874.

Solche Hochöfen mit Blechmantel sind noch jetzt in grofser Zahl im Betriebe, besonders in aufserdeutschen Ländern: Grofsbritannien, Nordamerika, Frankreich.

Wenn nun durch die Beseitigung des Rauhgemäuers der Hochöfen eine wesentliche Vereinfachung gegen früher erreicht worden war, so bildet immerhin der Blechmantel, den man als Schutz gegen äufsere Beschädigungen für notwendig gehalten hatte, einen Bestandteil der Anlage, welcher die Zugänglichkeit des Schachts während des Betriebes, die Ausführung von Arbeiten am Schachte, z. B. Auswechselung einzelner Steine, erschwert. Selbst wenn man, wie bei dem beschriebenen Hochofen, die einzelnen Blechtafeln zum Herausnehmen einrichtet, bleibt der Übelstand bestehen, dafs die Steinlagen der Beobachtung entzogen sind, und dafs die Herstellung des Mantels ziemlich kostspielig ist. Der Schutz aber, welchen der Mantel den Schachtsteinen zu verleihen imstande ist, kann ebensogut durch umgelegte eiserne Bänder erteilt werden.

Aus solcher Erwägung ging die Einrichtung der Hochöfen mit vollständig freistehendem Schachte hervor, welcher nur durch umgelegte Bänder eine Rüstung erhält.

Einer der ersten Öfen dieser Art wurde zu Ilsede bei Peine im Jahre 1864 gebaut[1]; allgemeiner bekannt wurde die Einrichtung erst, nachdem einige Zeit später auf dem kleinen Eisenwerke Heerdt bei Neufs ein Ofen mit freistehendem Schachte durch Büttgenbach gebaut worden war und man in verschiedenen Ländern Patente auf gewisse Eigentümlichkeiten dieses Ofens erteilt hatte[2]. Seit Mitte der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts hat alsdann die Zahl der Hochöfen mit freistehendem Schachte von Jahr zu Jahr zugenommen.

Die Abb. 131 stellt einen Hochofen dieser Art dar. Einzelne umgelegte Reifen dienen zum Schutze des Schachts. Damit sie bei der Ausdehnung des Ofens nicht springen, müssen sie anfänglich locker umgelegt werden und mit einer Vorrichtung versehen sein, welche ein Lockern und Anziehen ermöglicht.

Auf Seite 183 I sind in Abb. 57 und 58 bereits einige Beispiele solcher Vorrichtungen gegeben.

Versuche über den Einflufs, welchen die Beseitigung des früher üblichen Rauhgemäuers auf den Schmelzgang des Ofens ausübt, wurden in den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts bei dem Königlichen Eisenwerke zu Gleiwitz angestellt[3].

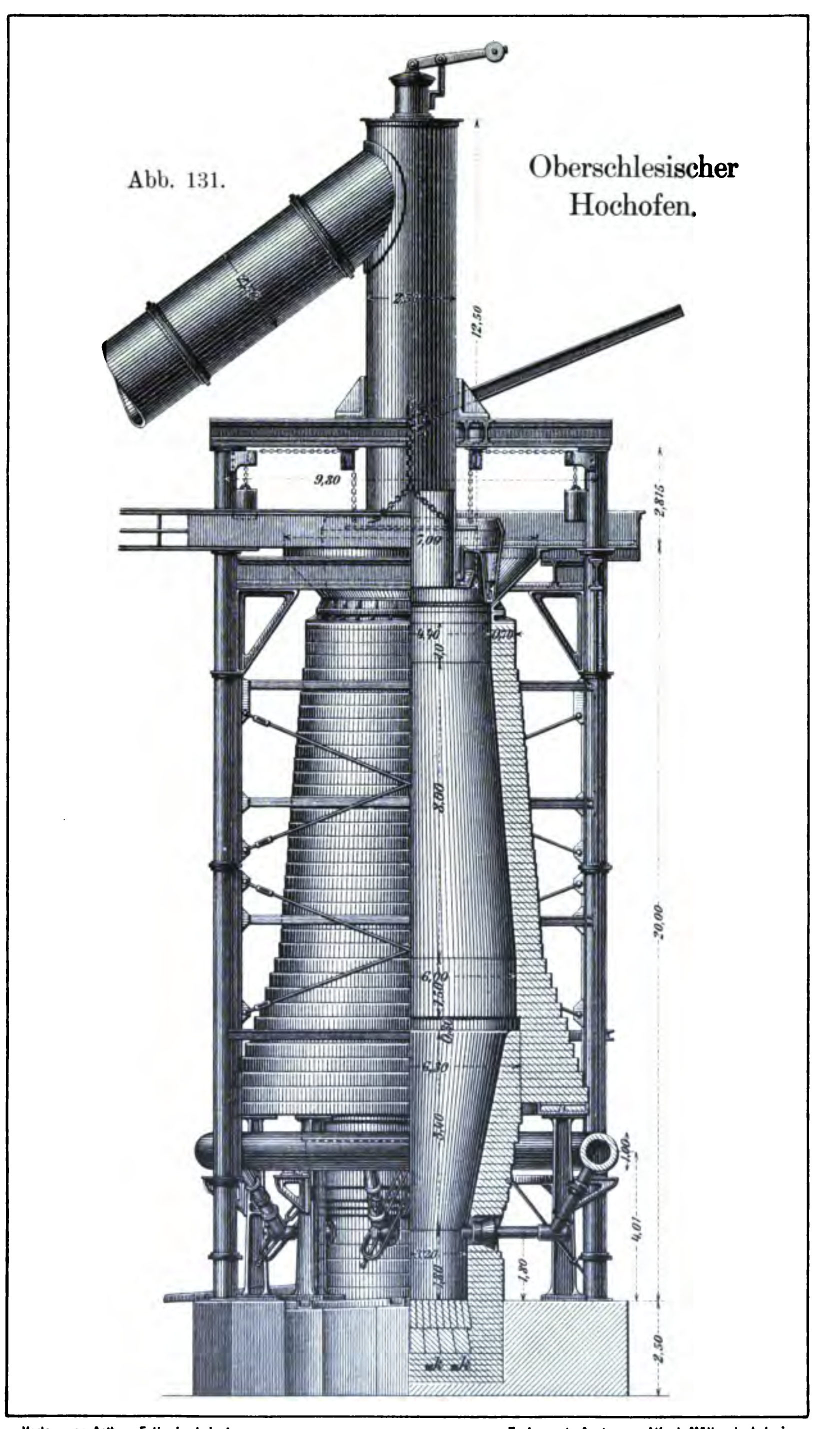
Bei dem einen von zwei vorhandenen Hochöfen, welche ursprünglich mit starkem Rauhgemäuer und eingebautem Gestell versehen gewesen waren, wurde das Rauhgemäuer von der Gicht ab-

---

[1] Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1874, S. 614. Die Einrichtung entwickelte sich ziemlich gleichzeitig auf verschiedenen Werken. Näheres hierüber ist in der hier genannten Abhandlung mitgeteilt.

[2] Eigentliche Büttgenbach-Hochöfen, welche im Anfange der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts auf verschiedenen Werken, besonders des Auslands, gebaut wurden, dürften jetzt kaum noch bestehen. Ihre Einrichtung ist beschrieben u. a. in der Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1874, S. 614; Berg- und hüttenm. Ztg. 1874, S. 281; Kerl, Grundrifs der Eisenhüttenkunde, S. 105.

[3] Zeitschr. für Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Bd. 22, S. 260.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig. Techn.-art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

wärts bis etwas oberhalb der Kohlensackebene abgebrochen, das Gestell ringsherum freigelegt und der Ofen dadurch in einen solchen mit freistehendem Schacht ohne Blechmantel verwandelt. Der noch übriggebliebene Rest des Rauhgemäuers, welcher nur als Unterstützung für anderweitige Teile der Hochofenanlage beibehalten wurde, bildete solcherart eine Art Gürtel von ungefähr 3,5 m Höhe rings um den Ofen in der Gegend der Rast, mit welchem jedoch das eigentliche Ofengemäuer ohne alle Verbindung gelassen war, so dafs zwischen Ofen und Rauhgemäuer ein Zwischenraum von 0,47 m Breite freiblieb.

Zunächst zeigte sich, dafs bei dieser Anordnung, wo innerhalb jenes Zwischenraums ein lebhafter, die Abkühlung des Ofengemäuers in der Kohlensackgegend befördernder Luftwechsel stattfand, der Koksverbrauch (bezogen auf die Gewichtseinheit dargestellten Roheisens) unter übrigens gleichen Betriebsverhältnissen nicht gröfser war als bei dem zweiten Hochofen mit starkem Rauhgemäuer.

Man füllte nun den erwähnten Zwischenraum mit Kokslösche, also einem schlechten Wärmeleiter, aus und ermittelte aufs neue die Betriebsergebnisse während mehrerer Wochen. Es zeigte sich keine Verringerung des Koksverbrauchs.

Nachdem später die Füllung wieder entfernt, der Luftwechsel rings um den Schacht her wiederhergestellt worden war, ergab sich sogar als Durchschnitt während einer längeren Betriebszeit eine Ersparung an Koks gegenüber dem Betriebe mit Ausfüllung des Zwischenraums, welche mitunter bis auf 19 v. H. stieg. Wenn dieses Ergebnis auch vermutlich durch andere Umstände mit herbeigeführt worden ist, liefern doch die mitgeteilten Versuche den Beweis dafür, dafs durch die Freilegung des Schachts eine Verschlechterung des Hochofengangs nicht eintritt.

Eine fernerweit gemachte Beobachtung ist, dafs die freistehenden Schächte ohne Blechmantel sich nach dem Anblasen des Hochofens sowohl im Durchmesser als in der Höhe weniger ausdehnen als die Öfen mit Mantel oder Rauhgemäuer. Der freistehende Schacht in Gleiwitz wuchs in der Höhe nur um 78 mm, während früher eingebaute Schächte bis 235 mm gestiegen waren. Der Unterschied findet seine ausreichende Erklärung in der weniger starken Erhitzung des freistehenden Schachts. Für seine Haltbarkeit ist die Beschränkung der Ausdehnung nicht ohne Wichtigkeit.

In Deutschland sind bei Neuanlagen die freistehenden Schächte der Hochöfen ganz allgemein geworden, und sie haben sich stets gut bewährt. In anderen Ländern haben sie zwar ebenfalls Eingang gefunden, sind aber im ganzen noch nicht so häufig wie in Deutschland. Man fürchtet dort vielfach den nachteiligen Einflufs der Witterung auf die Schachtsteine und schützt nach wie vor diese durch einen umschliefsenden Blechmantel oder auch durch eine dünne Umhüllung aus gewöhnlichem Ziegelmauerwerk. Der Ofen bekommt in letzterem Falle ebenfalls das Aussehen wie diejenigen mit freistehendem Schachte; aber der eigentliche Schacht bleibt weniger zugänglich.

Die Anordnung der einzelnen Teile des Hochofens.

Mit den geschilderten Änderungen, welche die Bauart der Hochöfen während des neunzehnten Jahrhunderts erfuhr, gingen Änderungen in der Anordnung der einzelnen Teile Hand in Hand. Auch der Ersatz der früher fast ausnahmslos benutzten natürlich vorkommenden feuerfesten Steine (Quadersandsteine, Puddingsteine) für den inneren Ausbau des Ofens durch Schamottsteine, deren Anfertigung um so mehr vervollkommnet wurde, je mehr der Bedarf stieg, brachte gewisse Änderungen mit sich. Jene natürlichen feuerfesten Steine lassen sich zwar in gröfseren Stücken als Schamottsteine beschaffen, die Anzahl der Fugen ist bei ihrer Benutzung geringer; aber ihre Herrichtung für den Ofenbau erheischt Kosten an Arbeitslohn und Abfällen, während man die Schamottziegel von vornherein in jeder beliebigen, den Ofenumrissen entsprechenden Form fertigen kann, und den basischen Schlacken der Kokshochöfen gegenüber sind die kieselsäurereichen natürlichen Gesteine minder widerstandsfähig als gute Schamottziegel.

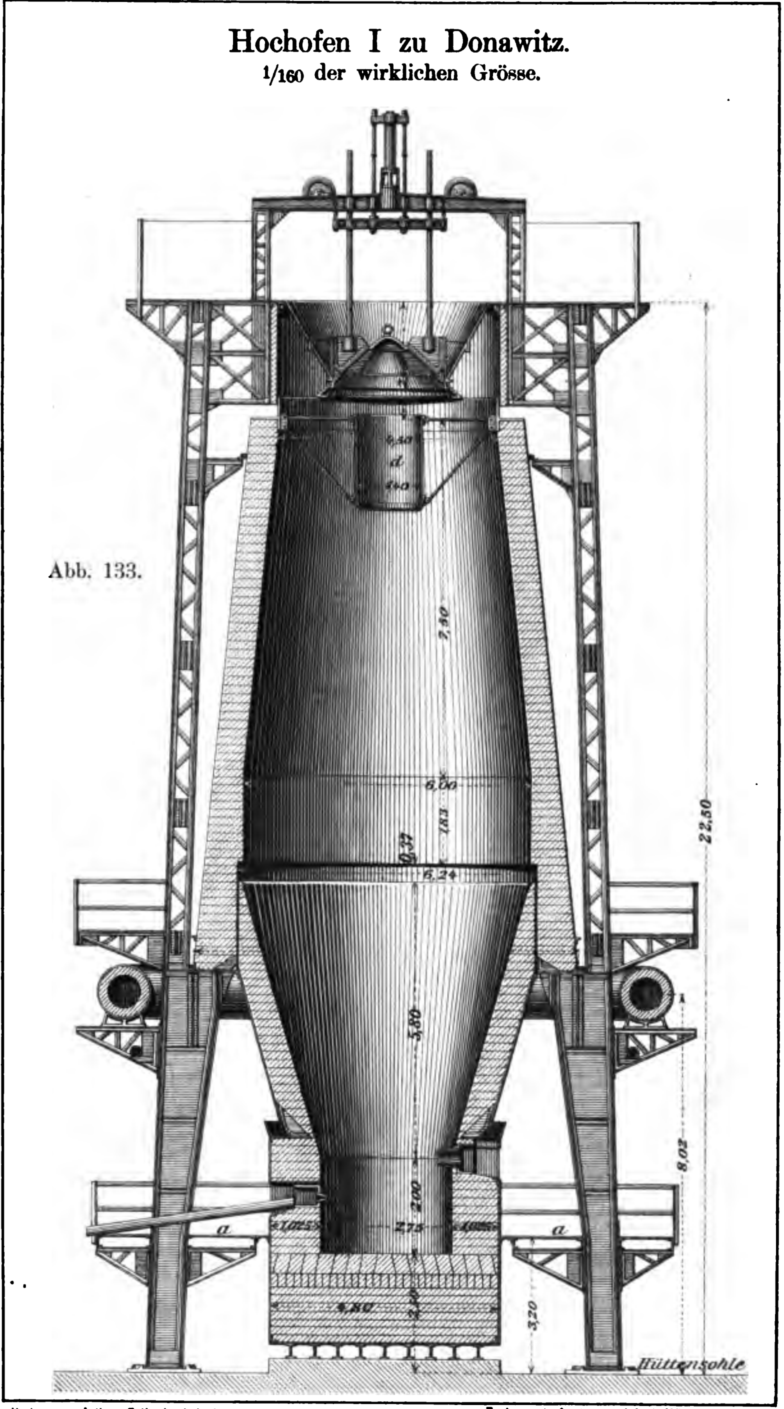
In Rücksicht auf die Umständlichkeit der Bearbeitung natürlich vorkommender feuerfester Steine behielt man Jahrhunderte lang den leichter herzustellenden vierseitigen Querschnitt des Ofeninnern bei, zumal des unteren Teils (wie bei dem Ofen Abb. 124 und 125 auf S. 48), obgleich er für den gleichmäfsigen Niedergang der zu schmelzenden und geschmolzenen Massen zweifellos nicht günstig war; erst als man zur Benutzung künstlich gefertigter feuerfester Ziegel für den Ofenbau überging, wurde der kreisförmige Querschnitt zur Regel. Holzkohlenhochöfen aber besitzen noch heute bisweilen ein Gestell aus Quadersandsteinen mit vierseitigem Grundrisse.

Die Schamottsteine für den Schacht enthalten etwa 35 v. H. Tonerde; für die unteren Teile verwendet man gern noch etwas tonerdereichere Steine. Für die Rast kommen mitunter Kohlenstoffziegel (S. 198 I) zur Benutzung.

Es möge hier daran erinnert werden, dafs alle eisenoxydhaltigen feuerfesten Baustoffe für den Hochofen gefahrbringend sind, auch wenn sie an und für sich ausreichend widerstandsfähig sein sollten. Unter der Einwirkung des Kohlenoxyds im aufsteigenden Gasstrome auf das Eisenoxyd wird Kohlenstoff abgelagert (S. 312 I); die Steine verlieren ihre Festigkeit und können binnen kurzem zerfallen[1]).

---

[1]) Einen Vorfall dieser Art teilte Limbor in der Wochenschrift des Ver. deutsch. Ingenieure 1878, S. 259, mit. Im Jahre 1875 wurde nach neunmonatlichem Betriebe ein Hochofen der Friedrich-Wilhelmshütte, dessen Schacht aus Garnkirksteinen hergestellt worden war, ausgeblasen. Es zeigte sich, dafs die Schachtsteine allen Zusammenhang verloren hatten und mit einer schwarzen Masse durchsetzt waren, welche neben 20 Teilen Eisenoxyd 24 Teile Kohlenstoff enthielt. Die noch unbenutzten Steine enthielten 6,23 v. H. Eisenoxyd. Ein ähnlicher Fall wurde von Pattinson auf den Tees-Iron-Works in Middlesborough beobachtet (The Journal of the Iron and Steel Institute 1876, I, 85). Steine, welche in geringerem Mafse von Kohlenstoff durchsetzt sind, werden nach dem Ausblasen der Öfen häufig gefunden. Vergleiche auch Lürmanns Mitteilungen in „Stahl und Eisen“ 1898, S. 168.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig. Techn.-art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

Die erste Arbeit beim Aufbau der Hochöfen ist die Herstellung des Grundmauerwerks. Während für die Hochöfen mit Rauhgemäuer ein kostspieliger, 3 bis 4 m hoher, oft noch auf einem Pfahlroste ruhender Unterbau notwendig war, um den schweren Mauerkörper zu tragen (Abb. 124), genügt für die leichteren Bauten der Jetztzeit, sofern der Baugrund ausreichend fest ist, gewöhnlich eine Betonunterlage von 0,75 bis 1 m Stärke im Erdreiche, die man oben durch einige Steinlagen Mauerwerk abdeckt. Dieser Unterbau reicht bis zur Erdoberfläche. Nur bei unzuverlässigem Baugrunde kann eine, mitunter recht kostspielige Lagerung des Unterbaues auf Pfahlrosten erforderlich werden [1].

Damit nun für das Abfliefsen des Roheisens das nötige Gefälle gewahrt bleibe und die Entfernung der Schlacke ohne Schwierigkeit sich bewerkstelligen lasse, mufs die untere Begrenzungslinie des Ofeninnern höher als die Erdoberfläche liegen. Bei neueren gröfseren Hochöfen beträgt der Abstand über dem Boden etwa 3 m, sofern man beabsichtigt, alles erfolgende Roheisen auf einem vor dem Hochofen angeordneten Giefsbette in Masselgufsformen zu verteilen, um es hier erstarren zu lassen. Soll dagegen das Roheisen durch eine grofse, unter den Abstich gebrachte Pfanne aufgenommen werden, um im flüssigen Zustande zum Zwecke seiner sofortigen Weiterverarbeitung nach einem anderen Orte weiter befördert zu werden (Flufseisenerzeugung durch Windfrischen), so kann jene Höhe bis 5 m betragen.

In der gleichen oder annähernd gleichen Höhe nun mufs eine den Hochofen rings umschliefsende Bühne geschaffen werden, um die Wartung der Windformen, des Roheisenstichs und Schlackenabflusses zu ermöglichen. Bei den meisten der bis gegen Ende des neunzehnten Jahrhunderts gebauten Hochöfen hat man zu diesem Zwecke auf dem erwähnten Unterbau einen Mauersockel von der angegebenen Höhe aus Ziegeln oder Bruchsteinen aufgeführt, welcher den unteren Teil des eigentlichen Hochofenmauerwerks, den Boden, rings umschliefst und einen solchen äufsern Durchmesser besitzt, dafs sein Scheitel als Bühne für die erwähnten Arbeiten dienen kann. In Abb. 131 ist diese Anordnung erkennbar. Im Grundrisse kann der Sockel Kreisform, mitunter auch quadratische oder achteckige Form besitzen; durch eine Treppe wird sein Scheitel von der Erdoberfläche aus zugänglich gemacht.

Hierdurch entsteht nun aber der Nachteil, dafs der Boden des Hochofens der Abühlung durch die äufsere Luft oder durch Berieselung mit Wasser fast ganz entzogen und dadurch der Gefahr einer verhältnismäfsig raschen Zerstörung preisgegeben ist. Wie man schon in der ersten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts zunächst das Gestell und die Rast, später auch den Schacht von der Umhüllung durch das Rauhgemäuer befreite, hat man neuerdings nach einem Vorschlage Lürmanns [2]) bei Neubauten auch

[1]) Beispiel hierfür: „Stahl und Eisen“ 1897, S. 705 (Eisenwerk Kraft bei Stettin).

[2]) „Stahl und Eisen“ 1888, S. 303, 706; 1889, S. 525.

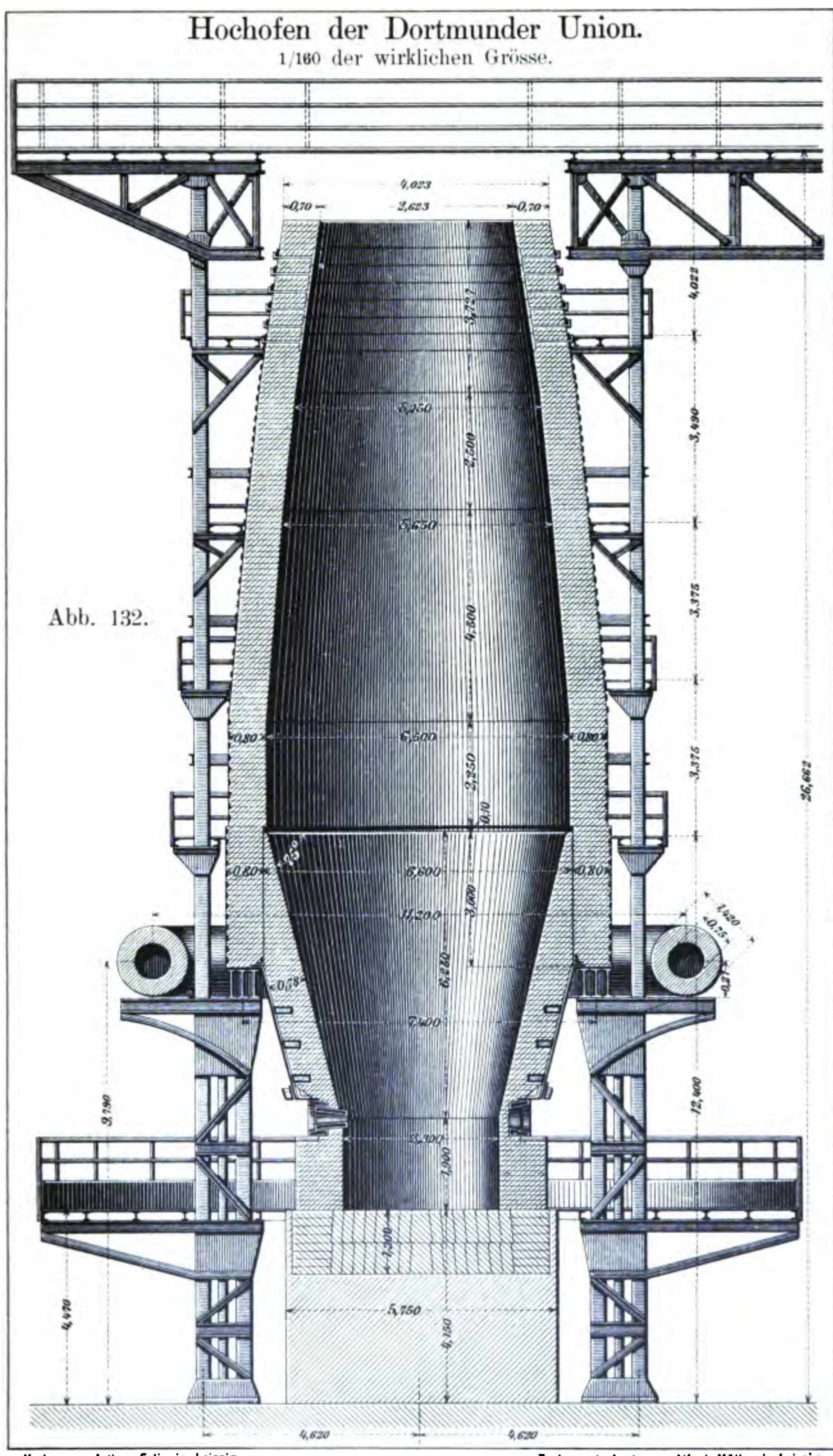
den Boden freigelegt. Die Abb. 132 zeigt einen in dieser Weise gebauten Hochofen. Der eigentliche Boden steht hier auf einem in Zement gemauerten Sockel ohne jede Rüstung. Will man jedoch den Boden auch von unten her kühl halten, so stellt man ihn auf eine Eisenplatte, welche auf Eisenträgern frei ruht. In Abb. 133, einen zu Donawitz in Steiermark im Jahre 1890 nach einem Entwurfe Lürmanns erbauten Ofen darstellend, ist die letztere Einrichtung erkennbar. Der Boden ist hier unten und an den Seiten durch einen Eisenblechmantel umschlossen.

Wenn nun aber jener, den Boden einschliefsende breite Mauersockel wegfällt, mufs eine besondere Bühne für den Verkehr der Arbeiter an den Windformen, dem Roheisenstiche und Schlackenabflusse geschaffen werden. Wie diese Aufgabe sich lösen läfst, ist ebenfalls in Abb. 132 und 133 zu ersehen. An den zum Tragen des Ofenschachts dienenden Ständern sind Kragstücke in entsprechender Höhe befestigt, auf welchen nun die aus Eisenträgern und Blechtafeln gebildete Bühne ruht.

Den Boden fertigte man früher, solange man sich der natürlich vorkommenden feuerfesten Gesteine bediente, aus einzelnen langen, quer unter dem Ofen hinweggehenden Steinen, welche durch das darauf ruhende Gestell in ihrer Lage festgehalten wurden. Bei der jetzt üblichen Verwendung von Schamottziegeln sind so bedeutende Abmessungen der einzelnen Steine nicht zuläfsig, und man ist deshalb gezwungen, zahlreiche einzelne Ziegel in solcher Weise zusammenzufügen, dafs jeder von ihnen durch die Nachbarsteine festgehalten wird, ohne seine Lage verändern oder dem Bestreben zum Emporsteigen in dem flüssigen Metalle nachgeben zu können, und ohne diesem den Eintritt zwischen die Fugen zu ermöglichen. Man erreicht diesen Zweck gewöhnlich dadurch, dafs man den mittleren Stücken des Bodens Keilform gibt und die daranstofsenden in schräger Stellung dagegen legt, so dafs der Boden ähnlich wie ein umgekehrter scheitrechter Bogen zusammengefügt ist. Die Abb. 128, 131, 132, 133 lassen diese Anordnung erkennen. Die äufsersten dieser Steine treten unter die Steine des Gestells und werden von diesen in ihrer Stellung festgehalten, während sie selbst es den übrigen Steinen unmöglich machen, aus ihrer Lage zu weichen. Gewöhnlich werden zwei Schichten solcher Steine übereinander angebracht, wobei die Fugen der unteren Schicht durch die Steine der oberen abgedeckt werden, mitunter befindet sich darunter noch eine Schicht aus wagerecht liegenden Ziegeln (Abb. 131). Die Stärke dieser sämtlichen Steinlagen zusammen pflegt 1,5 bis 2 m zu betragen.

Bei Hochöfen, welche bleiische Erze verhütten, tritt das im Ofen reduzierte, spezifisch schwerere und in einem sehr dünnflüssigen Zustande befindliche Blei durch die Fugen des Bodens hindurch nach unten (S. 380 I). Es läfst sich gewinnen, wenn man unter dem Boden Kanäle anordnet, welche untereinander in Verbindung stehen und mit schwachem Fall nach aufsen münden. Bei dem Hochofen Abb. 131 sind solche Kanäle (in der Zeichnung mit *kk* bezeichnet) unterhalb des Bodens sichtbar.

Bevor auf dem Bodensteine das Gestell und die Rast auf-



Hochofen der Dortmunder Union.

1/160 der wirklichen Grösse.

Abb. 132.

Verlag von Arthur Felix in Leipzig. Techn.-art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

gestellt werden, pflegt man den Schacht des Ofens wenigstens bis zu der Höhe, wo die Rast sich anschliefst, emporzuführen. Bei dem Aufbau eines neuen Ofens ist es demnach zunächst erforderlich, die Säulen oder Ständer aufzustellen, welche den Schacht tragen sollen, auf diesen den Tragkranz und bei Öfen mit Blechmantel an dem Tragkranze den Mantel zu befestigen. Ist der Ofen mit einem den Boden umschliefsenden Mauersockel versehen, so stellt man auf diesem die Säulen auf; gegossene und mit Ankerschrauben im Sockel befestigte Fufsplatten dienen als Unterlage (Abb. 128, 131). Statt des früher üblichen U-förmigen Gufseisenkranzes zum Tragen des Schachts benutzt man jetzt häufig mehrere nebeneinander liegende, zum Ringe gebogene I-Träger, welche durch Eisenplatten abgedeckt sind (Abb. 132).

Die Wandstärke des Schachts mufs zum Teil von der Höhe des Hochofens abhängig und in Rücksicht auf den Umstand bemessen sein, dafs die untersten Steinlagen das Gewicht des ganzen Ofenschachts tragen müssen, ohne der Gefahr der Zerdrückung ausgesetzt zu werden. Zweckmäfsig ist es deshalb, die Wandstärke von unten aufwärts allmählich abnehmen zu lassen, wodurch das Gewicht verringert und Baustoff gespart wird. Bei mittelgrofsen Öfen (15 bis 20 m Höhe) ist eine Stärke der Schachtsteine im Fufse des Schachts von 750 bis 900 mm ausreichend, während an der Gicht 600 bis 700 mm Stärke genügt; bei gröfseren Öfen findet man Wandstärken unten bis 1200 mm, oben etwa 700 mm.

Die Schachtsteine werden nun entweder in solchen Abmessungen gefertigt, dafs die Länge jedes Steins (in der Richtung des Ofendurchmessers) gleich der Wandstärke des Schachtes ist, oder sie erhalten kürzere Abmessungen, und man fügt den Schacht aus zahlreicheren Steinen zusammen. Letzteres Verfahren ist jetzt üblicher, obgleich die Zahl der Fugen dadurch vergröfsert wird. Man hat gröfsere Gewähr dafür, dafs die kleineren Ziegel gleichmäfsig gebrannt sind, und ihre Handhabung beim Einmauern ist bequemer. Nicht anwendbar sind kleine Ziegel, wenn zinkische Erze verhüttet werden sollen. Die Zinkdämpfe dringen in die zahlreicheren Fugen und tragen zur rascheren Zerstörung des Mauerwerks bei[1]).

Das Einbauen des Gestells und der Rast nennt man das Zustellen des Hochofens, da diese Arbeit den Beschlufs beim Aufbau bildet; die genannten Teile selbst heifsen die Zustellung. Da sie in besonders starkem Mafse den Einwirkungen der hohen Temperatur, der geschmolzenen Massen und der Hochofengase preisgegeben sind, ist gerade für ihren Aufbau und die Auswahl des Baustoffs grofse Sorgfalt unerläfslich. Gestellen für Kokshochöfen gibt man eine Wandstärke von 0,9 bis 1,2 m. Ob man dazu Steine benutzt, deren Länge jedesmal gleich der ganzen Wandstärke ist, oder ob man kürzere Steine in mehreren Schichten hintereinander zusammenfügt, hängt auch hier, wie bei der Herstellung des Schachts, zum Teil von der Beschaffenheit der Ziegel und von der Zusammensetzung der Hochofenbeschickung ab. Für

---

[1]) „Stahl und Eisen“ 1895, S. 133.

die Anbringung der Formen, des Stichs usw. müssen die entsprechenden Öffnungen gelassen werden, und man mufs von vornherein bei Herstellung der Steine, zumal wenn man grofse Steine verwendet, hierauf Rücksicht nehmen.

In den jetzt seltenen Fällen, wo der Ofen bei freistehendem Gestelle offene Brust erhält, mufs der Wallstein zwischen den Steinen des Gestells seine Befestigung erhalten und die letzteren müssen in Rücksicht hierauf an der betreffenden Stelle entsprechend weit vorspringen, wie die Abb. 134 auf folgender Seite erkennen läfst. Die vorderen Flächen dieser Vorsprünge werden mit gufseisernen Platten *aa* (Abb. 134 bis 136) bekleidet, um gegen Beschädigungen geschützt zu sein; in die Platten giefst man Löcher ein zur Befestigung von Haken, welche zur Unterstützung schwerer, beim Betriebe benutzter Werkzeuge Verwendung finden können[1]).

An diesen Stirnplatten des Gestells kann auch die als Schutz für den Wallstein dienende Wallplatte *b* durch Haken und Keile oder in ähnlicher Weise befestigt werden. An ihrer Oberkante, und zwar ganz an dem einen Ende des Wallsteins, wird bei Öfen, deren Schlacke von selbst abfliefst (bei sämtlichen Kokshochöfen und den auf weifses Roheisen arbeitenden Holzkohlenhochöfen), ein Einschnitt *c* angebracht, die Schlackenspur genannt, durch welche die Schlacke austritt, um auf der schon erwähnten Schlackentrift hinabzufliefsen. An der entgegengesetzten Seite befindet sich das Stichloch *d*.

Die Breite der Brustöffnung ist bei kleinen Öfen gleich der Breite des Herdes, bei gröfseren in der Regel nicht über 1 m.

Den Tümpel *e* (Abb. 135, 136) mauert man bei Benutzung von Schamottziegeln aus einzelnen Keilstücken als scheitrechten Bogen, und man gibt zum Tragen den als Widerlager dienenden Seitenwänden der Brustöffnung eine entsprechende Abschrägung[2]). Die Höhe jener Öffnung des Gestells, in welche der Tümpel eingesetzt wird, wird etwas beträchtlicher genommen, als für den Tümpel allein erforderlich sein würde, und dann der obere Teil durch eingesetzte Steine *ff* geschlossen. Das Tümpeleisen *g* (Abb. 136) hat den Zweck, die untere und gewöhnlich auch die Vorderseite des Tümpels vor Beschädigungen zu schützen. In Abb. 135 ist das Tümpeleisen weggenommen gedacht.

Von der gegenseitigen Stellung des Wallsteins, Tümpels und der Windformen war bereits auf S. 45 die Rede.

Die übliche Anordnung der Raststeine ist aus den gegebenen Abbildungen verschiedener Hochöfen erkennbar. Zwischen dem obern Rande der Raststeine und der darüberliegenden, nach innen etwas vortretenden Steinlage der Schachtsteine wird ein Zwischenraum gelassen, welcher beim Wachsen des Gestells und der Rast nach dem Anblasen des Hochofens sich von selbst schliefst.

In Abb. 128 und 131 liegt die Rast äufserlich frei und ist nur

---

[1]) Bei den Öfen der alten Zeit (Abb. 121, 124) gaben die Eckpfeiler des Rauhgemäuers eine bequeme Gelegenheit zur Befestigung des Wallsteins, der von einem Pfeiler zum anderen hinüberging und sich vor die Steine des Gestells legte.

[2]) Bei den Öfen mit Sandsteinzustellung besteht der Tümpel aus einem einzigen grofsen, auf den Herdsteinen aufruhenden Steine.

durch Eisenbänder umgeben, welche das Ausweichen der Steine unter dem Drucke der darauf lastenden Beschickung verhüten sollen. Das Gewicht der Rast mufs von dem Gestelle getragen werden, welches ohnehin durch die Öffnungen für die Windformen geschwächt ist. Je stärker das Gestell wegschmilzt, desto gröfser wird die Gefahr, dafs es die Rast nicht mehr genügend zu stützen vermag. Der Übelstand wird beseitigt, wenn man die Rast mit

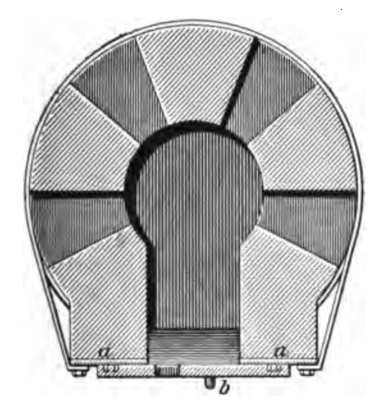


Abb. 134.

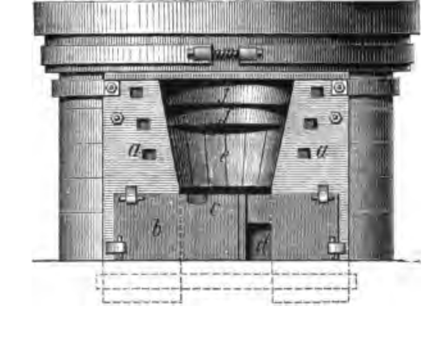


Abb. 135.

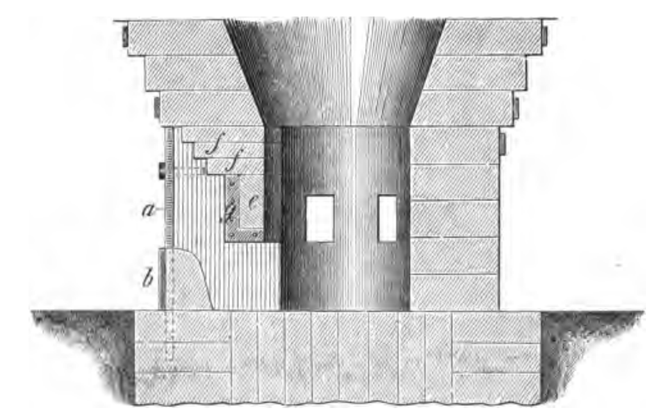


Abb. 136.

einem von aufsen getragenen Blechmantel umgibt, welcher ihr Gewicht aufnimmt und solcherart das Gestell entlastet. Die Einrichtung, welche von Lürmann zuerst im Jahre 1867 bei einem Ofen der Georgs-Marienhütte zur Anwendung gebracht wurde[1]), hat neuerdings häufige Benutzung gefunden. Auch bei den in Abb. 132 und 133 dargestellten Hochöfen wird die Rast in dieser Weise getragen. Die Säulen, welche den Schacht und die Gichtbühne tragen, können,

[1]) Näheres hierüber: „Stahl und Eisen“ 1887, S. 569.

wie bei den abgebildeten Öfen, auch zur Befestigung des Rastmantels dienen.

Nur noch selten kommt statt der beschriebenen Steinzustellung für Hochöfen Massezustellung in Anwendung. Man stampft hierbei an Ort und Stelle aus feuerfester Masse — im wesentlichen dem gleichen Stoffe, aus welchem auch die Schamottziegel gefertigt werden — den Boden und das Gestell, seltener auch die Rast, um ein Modell herum auf, trocknet vorsichtig und erhitzt schliefslich stärker, bis die Feuchtigkeit ausgetrieben ist und das Anblasen des Hochofens beginnen kann. Das Verfahren besafs früher, bevor die Anfertigung gut brauchbarer Schamottziegel zu dem erforderlichen Grade der Vollkommenheit ausgebildet worden war, gröfsere Bedeutung als jetzt. Wo ein geeigneter feuerfester Ton zur Bereitung der Masse zu erlangen war, und wo man die nötigen Erfahrungen in der Ausführung der Arbeit sich erworben hatte, fertigte man auf jene Weise Zustellungen ohne alle Steinfugen; diesem Vorteile aber steht der Nachteil gegenüber, dafs das eigentliche Brennen der Masse erst während des Betriebes selbst stattfindet und dafs jeder hierbei etwa entstehende Rifs eine Gefahr für die Haltbarkeit bildet.

Der auf S. 51 abgebildete Hochofen (Abb. 126) ist mit solcher Massezustellung versehen.

Die gekühlten Teile des Hochofens.

Seitdem man beim Hochofenbetriebe anfing, mit erhitztem Winde zu blasen, dadurch die Temperatur im Verbrennungsraume steigernd, stellte sich die Notwendigkeit heraus, das Ofenmauerwerk durch Kühlung vor rascher Zerstörung zu schützen.

Nur Wasserkühlung ist für diesen Zweck benutzbar; Luftkühlung würde keinen genügenden Erfolg bieten.

Die Wasserkühlung wird bewirkt, indem man aus einem höher gelegenen, ausreichend grofsen Behälter das Wasser ununterbrochen durch Rohrleitungen den betreffenden Teilen zuführt. Das benutzte und erwärmte Wasser fliefst unten ab.

Da die Temperaturen in verschiedenen Hochöfen nicht immer gleich sind, ist auch der Umfang der angewendeten Kühlvorrichtungen verschieden. Mit je heifserem Winde man arbeitet, desto höher ist die vor den Formen entwickelte Temperatur, desto stärker müssen die umgebenden Teile gekühlt werden; beim Betriebe auf graues Roheisen ist eine höhere Temperatur erforderlich als beim Betriebe auf gewöhnliches silicium- und manganarmes Weifseisen; beim Betriebe mit Koks, Steinkohlen, Anthraciten werden durchgängig höhere Temperaturen als beim Betriebe mit Holzkohlen im Verbrennungsraume erzeugt.

Zuerst waren es die Windformen, für welche die Anwendung einer Kühlung sich als notwendig erwies. Solange man die Hochöfen nur mit kaltem Winde betrieb, bestanden die Windformen häufig nur aus einer kupfernen, kegelförmigen (nach innen sich verengenden) Hülse, welche in die Öffnung des Gestells eingesetzt und mit feuerfestem Ton umstampft wurde; sobald man aber an-

fing, erwärmten Wind anzuwenden, erwies sich eine solche Form als unbrauchbar. Die Verbrennung ging rascher als zuvor, also in gröfserer Nähe der Form, vor sich, und die entwickelte höhere Temperatur brachte die Form oft schon nach Verlauf weniger Stunden zum Schmelzen.

Bei allen Hochöfen wendet man deshalb jetzt wassergekühlte Formen an.

Im Laufe der Zeit sind ziemlich verschiedene Einrichtungen für die Kühlung der Formen getroffen worden. Die üblichste ist durch Abb. 137 veranschaulicht. *a* ist die schlank konische Form. Sie hat doppelte Wände und an der Rückseite zwei Rohransätze einander gegenüber, an welchen die beiden Rohre für die Zu- und Ableitung des Wassers angeschlossen werden (in der Abbildung ist das eine dieser Rohre sichtbar). Man giefst die Formen aus Bronze (gewöhnlich Phosphorbronze) oder man fertigt sie aus Kupferblech und lötet die ringförmigen Verschlufsdeckel ein.

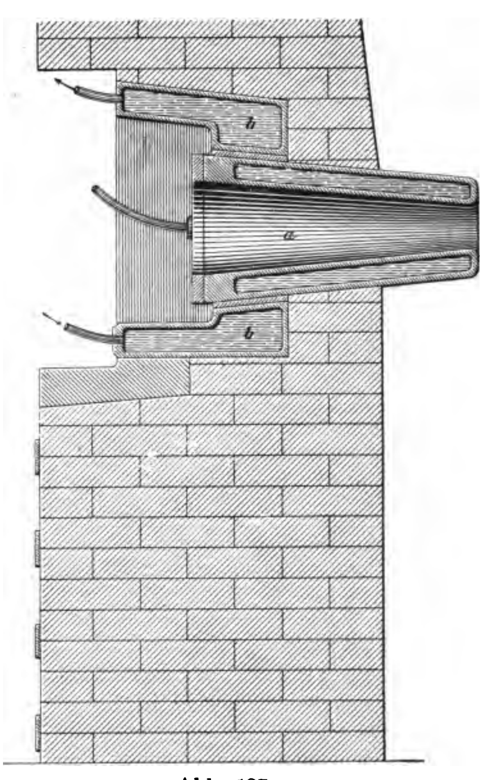


Abb. 137.

Um den Rüssel der Form, d. h. ihr vorderes, der Erhitzung am stärksten preisgegebenes Ende, von angehäuftem Schlamm oder Kesselstein reinigen zu können, hat man bisweilen den hintern Verschlufsdeckel zum Abnehmen eingerichtet, oder man hat die Form an der Rückseite offen gelassen und nur durch eingespritztes Wasser gekühlt. Die Einrichtungen haben sich jedoch selten dauernd bewährt.

Um das eintretende Kühlwasser zu zwingen, bis in den dem Wegschmelzen am stärksten ausgesetzten Rüssel vorzudringen und im übrigen die Formwände gleichmäfsig zu bespülen, sind verschiedene Mittel in Anwendung gebracht worden. Mitunter verlängert man das Eintrittsrohr innerhalb der Form so weit, dafs es erst nahe vor dem Rüssel endigt und somit das zufliefsende kalte Wasser unmittelbar bis hierher führt; auf anderen Werken hat man in die Form aufserdem eine Scheidewand eingesetzt, welche das Wasser veranlafst, rings in der Form herum seinen Weg zu nehmen

(Abb. 138). Meistens begnügt man sich jedoch das Wasser unter tunlichst hohem Drucke eintreten zu lassen, welcher die gleichmäſsige Berieselung der Formwand bewirken soll. Man stellt die Wasserbehälter auf einen turmartigen Unterbau von 30 m oder mehr Höhe, oder verlegt sie in gebirgigen Gegenden (z. B. auf einigen Lothringer Werken) in die Berge[1]).

Bei kleinen Hochöfen setzt man die Form bisweilen unmittelbar in die im Gestellmauerwerk ausgesparte Öffnung ein und verdichtet den Zwischenraum mit feuerfester Masse; bei gröſseren Öfen dagegen befestigt man die Form in einem in das Gestellmauerwerk eingelassenen, gleichfalls mit Wasser gekühlten Rahmen (Kühlkasten). In Abb. 137 ist *b* dieser in einem Stücke aus Bronze gegossene Rahmen. Die Stellung der Form wird dadurch besser gesichert und das Auswechseln erleichtert.

Den Rüssel der Form lieſs man in früherer Zeit mit der Ofenwand abschneiden (Abb. 126 auf S. 51), und bei kleineren, mit strengflüssiger Schlacke betriebenen Holzkohlenhochöfen ist diese Anordnung noch jetzt gebräuchlich. Die gekühlte Form würde, wenn sie aus der Gestellwand in das Innere hineinragt, zur Bildung erstarrter Ansätze Veranlassung geben, welche Stauungen der niedergehenden Massen bewirken und das Auswechseln der Form erschweren könnten. Bei einer solchen Lage der Form ist es jedoch unvermeidlich, daſs ein Teil des eintretenden Windes in geringer Höhe oberhalb der Formen an die Ofenwand znrückgedrängt wird. Die weitere Folge davon ist, daſs das Gestell an dieser Stelle in starkem Maſse dem Wegschmelzen unterworfen ist und daſs ein reichlicher Teil der Verbrennungsgase schon von vornherein an den Ofenwänden emporsteigt. Nach dem Ausblasen eines solchen Ofens wird dieser Vorgang durch eine starke, über jeder Form entstandene Ausbauchung des Gestells erkennbar.



Abb. 138.

Läſst man dagegen, wie bei der Abb. 137 dargestellten Form, den Rüssel in das Gestell hineinragen, so wird dieser Übelstand vermieden. Der Wind gelangt bei vorgeschobenen Formen in einem weiteren Gestelle mit derselben Leichtigkeit bis zur Ofenmitte, wie in einem engeren mit zurückstehenden Formen, und der Umstand, daſs die Widerstände für das Aufsteigen der Gase in dem weiteren Gestelle geringer sind als in einem engeren, erleichtert fernerhin jenes Vordringen des Windes und seine gleichmäſsige Verteilung. Man erreicht also durch Vorschieben der Formen, sofern man mit hocherhitztem Winde bläst, dasselbe Ziel, welches man früher bei Benutzung weniger heiſsen Windes durch Anwendung enger Gestelle anstrebte, ohne die groſsen Nachteile der engen Gestelle mit in den Kauf nehmen zu müssen.

Wie weit die Formen vorgeschoben werden können, ohne daſs

[1]) Erwähnung verdient der Vorschlag, das Kühlwasser nicht durch Druck den Formen zuzuführen, sondern anzusaugen („Stahl und Eisen“ 1901, S. 837). Man vermeidet hierdurch das Eintreten von Wasser in den Hochofen, wenn eine Form leck wird.

eine Stauung der Windströme und dadurch eine Schädigung des Schmelzgangs eintritt, hängt von der anzuwendenden Windspannung (welche durch die Höhe des Ofens und die Beschaffenheit der Schmelzstoffe bedingt ist) und dem Gestelldurchmesser ab. Nach Cochrane[1]) steigerte sich bei einem Ofen, dessen Gestelldurchmesser 2,44 m war und dessen Formen um 305 mm hineingeragt hatten, die Wochenerzeugung von 483 t auf 599 t, als man die Formen

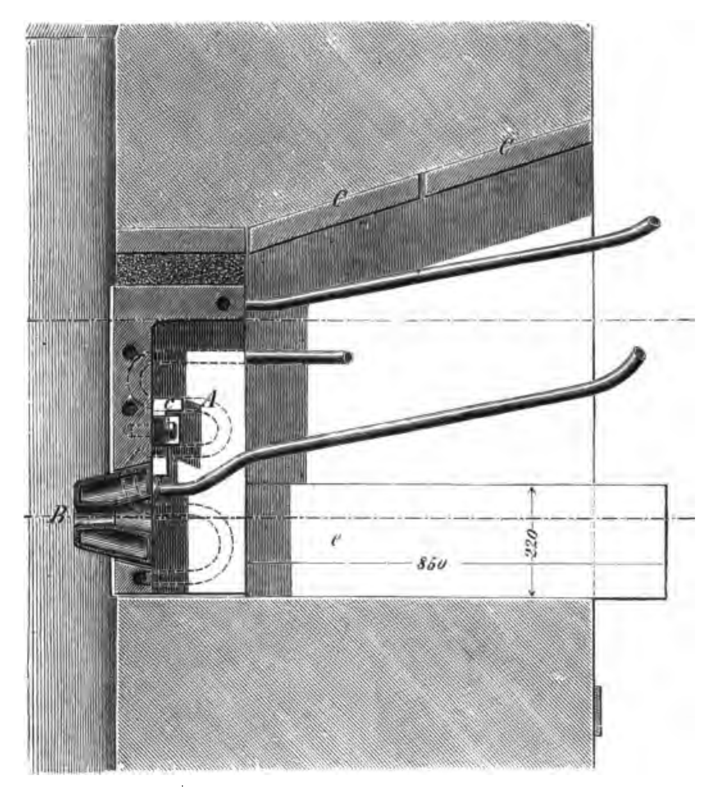


Abb. 139.

so weit zurückzog, dafs sie nur noch 150 mm hineinragten. Der Brennstoffverbrauch, auf die Gewichtseinheit dargestellten Roheisens bezogen, wurde ebenfalls günstiger, nachdem die Formen zurückgezogen worden waren. Hier war also bei dem Vorschieben der Formen die Grenze des Zweckmäfsigen bereits überschritten gewesen.

Die Länge der Hochofenformen kann 30 bis 80 cm betragen. Der Durchmesser des „Auges" der Form, d. h. der dem Ofen zugekehrten Öffnung, durch welche der Wind austritt, ist gewöhnlich

---

1) „Stahl und Eisen" 1882, S. 434, 555.

gleich dem Durchmesser der Düse (des Mundstücks der Windleitung) oder nur wenig gröfser als dieser und demnach von der Windmenge, Windtemperatur, Windpressung und Anzahl der Formen abhängig. Bei den kleinen Hochöfen beträgt dieser Durchmesser bisweilen nicht mehr als 80 mm, bei gröfseren 200 mm und darüber.

Die Richtung der Formachse ist wagerecht.

Nachdem diese wassergekühlten Windformen sich seit Jahrzehnten bewährt hatten, führte Lürmann, wie bereits früher erwähnt wurde, im Jahre 1867 eine ähnliche Einrichtung ein, um der Öffnung zum Abfliefsen der Schlacke bei Öfen mit geschlossener Brust einen Schutz gegen die Erweiterung durch die ausfliefsende Schlacke zu geben, und er nannte diese Einrichtung Schlackenform. Die ursprüngliche Einrichtung der Lürmannschen Schlackenform ist in Abb. 139 auf S. 65 dargestellt. *B* ist die eigentliche Schlackenform, aus Bronze hohl gegossen und mit Wasserkühlung versehen. Sie steckt in einem ebenfalls gekühlten Kasten *A*, den man früher aus Gufseisen mit eingegossenen, entsprechend gebogenen Schmiedeeisenrohren fertigte, wie in der Abbildung dargestellt ist, jetzt häufiger aus Bronze giefst, so dafs er dem unter Abb. 137 abgebildeten Kühlkasten gleicht. Nicht selten ersetzt man auch den eigentlichen Kühlkasten durch eine nach Art der Windformen gestaltete konische Hülse, wie in Abb. 140 ersichtlich ist, oder man steckt, um das Auswechseln der Schlackenform zu erleichtern, in die äufsere längere Hülse zunächst eine zweite kürzere, welche ebenfalls gekühlt wird, und in diese erst die Schlackenform. In der Regel läfst man auch die Schlackenformen, wie die Windformen, etwas in den Ofen hineinragen, wie in den Abbildungen veranschaulicht ist. Der Durchmesser des Auges der Schlackenform mufs von der zu erwartenden Schlackenmenge abhängen; man findet dafür 25 bis 50 mm, bisweilen noch darüber. Da sich jedoch die erfolgende Schlackenmenge nicht im voraus genau veranschlagen läfst, auch bei verschiedenem Gange des Ofens wechselt, bringt man bei gröfseren Hochöfen wohl zwei oder drei Schlackenformen an, welche nach Bedarf in Benutzung genommen oder durch Tonpfropfen verschlossen werden können.

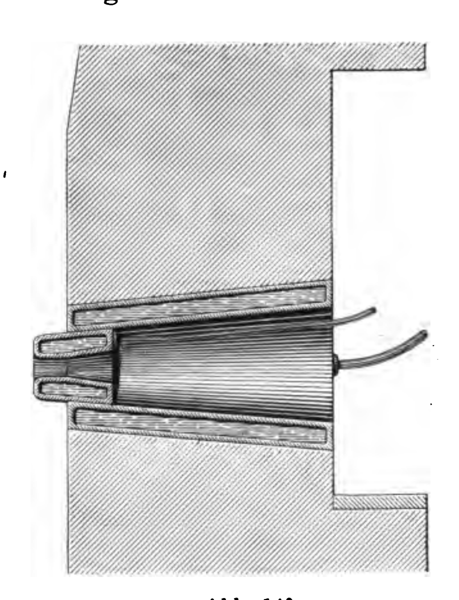


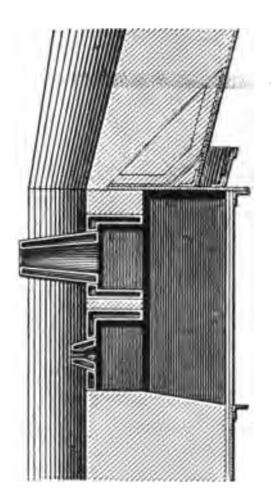
Abb. 140.

Damit die im Herde des Ofens befindliche Schlacke nicht in die Windformen eintreten kann, legt man die Mittellinie der

Schlackenformen 350 bis 900 mm tiefer als die Mittellinie der Windformen, abweichend nach den Abmessungen des Hochofens und der erfolgenden Schlackenmenge. Da, wo die Schlackenform sich befindet, läfst man häufig die Windform fehlen, wodurch allerdings die Gleichmäfsigkeit der Windverteilung beeinträchtigt wird. Ist der Abstand der Windformenebene von der Schlackenformenebene grofs genug, so legt man deshalb auch wohl die Schlackenform unter eine Windform, wie Abb. 141 darstellt.

Bei den Öfen mit offener Brust ist auch eine Kühlung des Tümpeleisens, welches in steter Berührung mit der flüssigen Schlacke sich befindet, für dessen Haltbarkeit unerläfslich. Man fertigt das Tümpeleisen aus Gufseisen mit eingegossenem Kühlrohre. In Abb. 136 auf S. 61 ist die übliche Form eines Tümpeleisens (in der Abbildung mit *g* bezeichnet) zu ersehen. Das Kühlrohr wird in Windungen hindurchgeführt.

Eine teilweise Kühlung der Ofenwände wird schon durch die Anwendung der Kühlkästen für die Windformen bewirkt; für Öfen jedoch, welche mit sehr heifsem Winde betrieben werden, ist eine noch umfänglichere Kühlung des Gestells, der Rast und häufig auch des höher gelegenen Schachts erforderlich, um diese Teile vor raschem Wegschmelzen zu schützen.


Abb. 141.

Der Zweck läfst sich in verschiedener Weise erreichen.

Man kann z. B. eine Anzahl eiserner oder bronzener Kühlkästen an verschiedenen Stellen des Ofengemäuers, ähnlich den Formkühlkästen, einlassen. Die Einrichtung dieser Kästen im einzelnen ist verschieden. Gewöhnlich sind sie flach, 8 bis 10 cm hoch, 70 bis 100 cm breit, und werden in das Ofengemäuer so weit eingelassen, dafs noch für eine schützende Steinschicht von 10 bis 20 cm Breite zwischen ihnen und dem Ofeninnern Platz bleibt. In den Abb. 128 und 132 sind solche Kühlkästen erkennbar. Um das eintretende Kühlwasser bis an die dem Ofeninnern zunächst liegende Wand zu führen, versieht man die Kühlkästen bisweilen mit eingegossenen oder eingesetzten Rippen, welche die Bewegung des Wassers regeln. Die Abb. 142 (Kühlkasten von Gayley) und 143 (Kühlkasten von Pollach) a. f. S. können als Beispiele hierfür dienen. Um das Innere der Kästen zugänglich zu machen, versieht man sie wohl am obern Rande oberhalb der Austrittsstelle für das Wasser mit einer Öffnung oder einem die ganze Breite einnehmenden Schlitze, aus welchem auch entwickelte Dämpfe entweichen können. Zur Verminderung des Kühlwasserverbrauchs benutzt man gewöhnlich dasselbe Wasser für mehrere Kästen, indem man es aus dem zu oberst liegenden Kasten der Reihe nach in tieferliegende führt, seltener durch Überleiten in einen benachbarten Kasten (wie bei Abb. 142). Eine um den

Ofen herumlaufende Rinne nimmt schliefslich das abfliefsende warme Wasser auf.

In dieser Weise werden die Rast und das Gestell, bei heifsgehenden Öfen auch der untere Teil des Schachts gekühlt. Am wichtigsten ist eine kräftige Kühlung des der Erhitzung am stärksten preisgegebenen Gestells. Deshalb hat man dieses in der Höhe der Windformen bisweilen vollständig durch einen gekühlten Panzer eingeschlossen, bestehend aus bronzenen Kühlkästen, welche zusammen einen vollen Ring bilden und durch Eisenbänder oder einen gegossenen, die Füfse der Kühlkästen umschliefsenden Ring zusammengehalten werden. Einzelne dieser Kühlkästen dienen zum Einlegen der Formen, bei den übrigen werden die betreffenden Öffnungen durch eingesetzte Steine geschlossen. Diese Einrichtung ist z. B. bei dem Hochofen Abb. 132 getroffen. Man gewahrt links einen Kühlkasten mit Windform, rechts einen solchen ohne Wind-

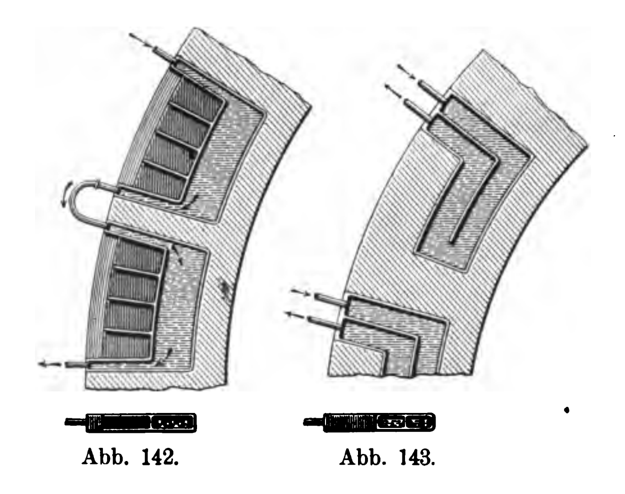


Abb. 142. Abb. 143.

form; beide bilden Teile des ganzen Ringes[1]). Durch eine solche Anordnung erhält zugleich das Rastmauerwerk eine Unterstützung.

Bei heifsgehenden Öfen reichen jedoch diese Kühlvorrichtungen noch nicht aus, die der stärksten Erhitzung preisgegebenen Teile, zumal das Gestell, vor rascher Zerstörung zu schützen, und man ist gezwungen, auch durch Berieselung des Mauerwerks von aufsen die Wirkung jener Vorrichtungen zu unterstützen. Rings um den Ofen herum wird zu diesem Zwecke in entsprechender Höhe ein Rohr oder eine Rinne gelegt und durch abwärts führende Röhren, deren Mündungen mit Brausen versehen sind, wird unausgesetzt Wasser gegen das Mauerwerk gespritzt. Das abfliefsende Wasser wird am Fufse des Gestells in Rinnen gesammelt und abgeleitet.

Um eine solche Berieselung mit Wasser noch wirksamer zu

---

[1]) Ausführlichere Abbildung dieser durch van Vloten eingeführten Bauart: „Stahl und Eisen“ 1895, S. 123; einer ähnlichen, bei amerikanischen Hochöfen angewendeten Kühlung: „Stahl und Eisen“ 1897, S. 1061.

machen, hat man vereinzelt nach einem Entwurfe von Burgers den Schacht des Ofens aus Gufseisenkränzen hergestellt, welche nur mit einer Steinlage von etwa 10 cm Stärke ausgekleidet sind. Äufserlich sind herumlaufende Rinnen angegossen, in welchen das Kühlwasser sich sammeln kann. Die Einrichtung ist auf einigen rheinischen Werken zur Anwendung gelangt[1]).

Schwierig ist eine wirksame Kühlung des Bodens zu erreichen, wenn er, wie noch bei vielen Öfen, von einem starken Mauerkranze umgeben ist. Mitunter läfst man in diesem Falle zwischen Mauerkranz und Boden einen Zwischenraum, der mit feucht erhaltenem Sande ausgefüllt wird. Durch Öffnungen im Mauerwerke kann das Wasser abfliefsen. Legt man dagegen den Boden frei, so läfst sich durch äufsere Berieselung Kühlung erzielen[2]).

Die Menge des für einen Hochofen von gröfseren Abmessungen erforderlichen Kühlwassers ist beträchtlich, zumal wenn er auf Roheisensorten betrieben wird, welche für ihre Darstellung hoher Temperaturen, also auch hocherhitzten Windes, bedürfen. Soviel als irgend möglich benutzt man das zum Kühlen der Windformen und Windformkästen benutzte Wasser auch noch für sonstige Zwecke (Körnen der Schlacke, Kesselspeisung u. a. m.); aber für eine einzige Windform pflegt man 60 bis 75 l Wasser in der Minute, für den zugehörigen Kasten 76 bis 100 l zu verbrauchen. Daher ist ein Gesamtverbrauch von 2 cbm Wasser in der Minute für einen Ofen nicht selten, und mitunter erhöht er sich auf das Doppelte. Steht eine diesem Verbrauche entsprechende Menge frischen Wassers nicht zur Verfügung, so benutzt man das ablaufende Kühlwasser wieder für den gleichen Zweck, nachdem es in einer geeigneten Vorrichtung (z. B. einer Dornenwand, auf der es in Tropfen niederfällt) wieder abgekühlt wurde.

In jedem Falle ist es zweckmäfsig, die Kühlung so zu regeln, dafs das abfliefsende Wasser nicht stärker als bis auf etwa 60° C. erwärmt wird.

Die Gichtbühne.

Für den Aufenthalt der Arbeiter, welche das Einschütten der Schmelzstoffe zu besorgen haben, für das Zufahren der mit diesen Schmelzstoffen gefüllten Karren vom Gichtaufzuge bis zur Gichtöffnung und das Abfahren nach geschehener Entleerung mufs in der Höhe der Gichtöffnung eine ausreichend geräumige Bühne geschaffen werden.

Bei den früheren Öfen mit Rauhgemäuer war die obere Fläche des Mauerkörpers ausreichend grofs, um als Gichtbühne zu dienen. Man hatte nur nötig, sie mit eisernen Platten als Schutz gegen Nässe und Beschädigungen abzudecken und ringsherum mit einer etwa 3 m hohen Wand einzufassen, um den Gichtarbeitern einen Schutz gegen Sturm zu gewähren.

---

[1]) Näheres: „Stahl und Eisen“ 1900, S. 677; 1904 S. 401.

[2]) Beispiel der Berieselung eines gepanzerten Gestells und Bodens: „Stahl und Eisen“ 1898, S. 658.

Bei den Öfen mit Blechmantel benutzt man diesen zur Befestigung eiserner Kragstücke, welche die Gichtbühne zu tragen bestimmt sind (Abb. 129 auf S. 53). Die benachbarten Kragstücke werden durch aufgeschraubte Eisenträger verbunden, zwischen welchen wieder kürzere Querstücke eingeschaltet werden können; schliefslich wird das ganze Trägernetz mit gerippten Eisenblechen abgedeckt. Eine am Umfange befestigte Wand aus Eisenblech verleiht auch hier den Arbeitern den erforderlichen Schutz.

Bei den Öfen mit freistehendem Schachte ist eine derartige Unterstützung der Gichtbühne nicht möglich. Man läfst sie durch vier oder mehr eiserne Säulen tragen, welche untereinander verstrebt und am Kopfe durch das Trägernetz verbunden sind, auf welchem die eigentliche Bühne gelagert ist. Die Säulen können zu ebener Erde auf Steinsockeln stehen; ist der Bodenstein durch einen starken Mauerkranz eingefafst, so pflegt man diesen auch zur Aufstellung der Säulen zu benutzen (Abb. 131), und bei neueren Anlagen hat man in zweckmäfsiger Weise den zum Tragen des Schachts dienenden eisernen Ständern eine solche Form gegeben, dafs auf ihnen auch jene Tragsäulen für die Gichtbühne befestigt werden können (Abb. 132, 133). Man spart dadurch an Höhe für die letzteren und beengt weniger den Raum rings um das Gestell. Bei dem Hochofen Abb. 132 dienen die oberen Säulen zugleich zur Befestigung von Laufbühnen, um den Schacht von aufsen leicht zugänglich zu machen.

Fehlerhaft würde es sein, den Schacht des Hochofens zur Unterstützung der Gichtbühne zu benutzen und ihn dadurch den Erschütterungen auszusetzen, welche diese durch die darüber rollenden, mit Erzen und Kohlen beladenen Karren erleidet. Aufserdem mufs der Umstand berücksichtigt werden, dafs beim Anblasen des Ofens der Schacht sich in der Höhenrichtung ausdehnt (wächst). Diese Höhenzunahme beträgt gewöhnlich $0{,}5$ bis $1{,}5$ v. H. der ursprünglichen Höhe, bei den Öfen mit Rauhgemäuer am meisten, bei den freistehenden Schächten am wenigsten. Die Gichtbühne mufs also in solcher Höhe über der Oberkante des noch kalt liegenden Ofens angeordnet werden, dafs dieses Wachsen möglich ist, ohne dafs die Gichtbühne gehoben wird, und den nach beendigtem Wachsen etwa gebliebenen Zwischenraum zwischen Bühne und Oberkante kann man später durch Einsatzstücke ausfüllen.

Bei solcher Einrichtung ist es jedoch schwer vermeidlich, dafs unverbrannte Gase aus dem Schachte seitlich entweichen und den auf der Bühne befindlichen Arbeitern gefährlich werden. Der Übelstand läfst sich abstellen oder doch wesentlich verringern, wenn man nach Lürmanns Angabe[1]) an der Bühne eine Art Stopfbuchse befestigt, in welcher der Schacht wachsen kann, ohne dafs ein Spalt, aus welchem die Gase entweichen können, vorhanden zu sein braucht. Sie besteht aus einem durch einen Eisenblechring getragenen und an der Gichtbühne befestigten Steinringe, in welchem sich ein auf dem Schachte angebrachter Gufseisen- oder Steinring

[1]) „Stahl und Eisen“ 1892, S. 221; 1895, S. 118.

verschieben kann. In Abb. 144 und 145 sind beispielsweise zwei Anordnungen solcher Lürmannscher Stopfbuchsen gezeichnet; *a* ist hier der von der Gichtbühne niederhängende Ring, *b* der Aufsatz auf dem Schachte. Mit einer Stopfbuchse von noch etwas anderer Form ist der in Abb. 133 dargestellte Ofen versehen. Häufig benutzt man auch statt der Stopfbuchse einen Wasserabschlufs, wie in Abb. 146 dargestellt ist. An dem von der Gichtbühne in den Ofenschacht einhängenden, aus Eisenblech gefertigten Trichter *a*, welcher einen Teil des später zu besprechenden Gasfangs bildet,

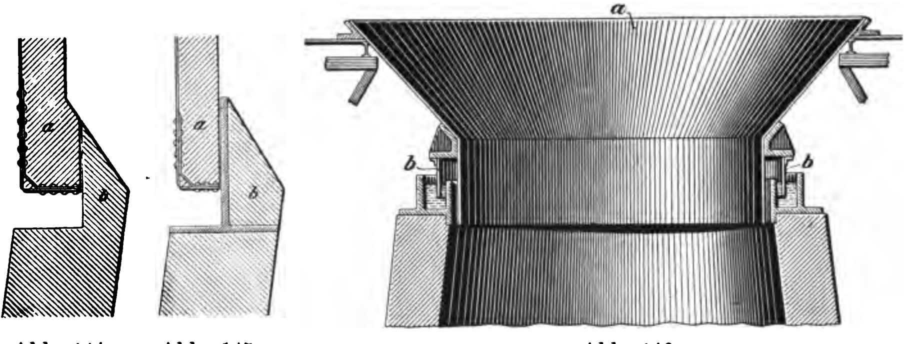


Abb. 144. Abb. 145. Abb. 146.

ist äufserlich der Eisenring *b* befestigt, welcher in den auf dem Ofenschachte stehenden ringförmigen Wasserbehälter eintaucht. Das verdunstende Wasser wird durch stetigen Zuflufs frischen Wassers ersetzt.

Die Gichtbühnen benachbarter Hochöfen von gleicher Höhe werden durch eine eiserne Brücke miteinander verbunden. Ebenso wird der Gichtaufzug (siehe unten) mit der Gichtbühne in Verbindung gesetzt. Eine Treppe — gewöhnlich eine eiserne Wendeltreppe — an geeigneter Stelle ermöglicht die Ersteigung der Bühne.

4. Die Vorrichtungen zur Entziehung, Reinigung, Fortleitung und Verbrennung der Gichtgase.

Allgemeines. Geschichtliches.

Die Eigentümlichkeiten des Eisenhochofenschmelzens machen es unvermeidlich, dafs die aus der Gicht entweichenden Gase noch eine ziemlich bedeutende Menge von Kohlenoxyd enthalten, also eines Brennstoffs von hohem Brennwerte. Die Höhe des Kohlenoxydgehalts richtet sich nach der Zusammensetzung der Beschickung und der Art des Betriebes, beträgt aber im Mittel etwa 24 v. H. von der Raummenge der Gase, also fast so viel, als in den aus Steinkohlen im Luftgaserzeuger gewonnenen Gasen enthalten ist, und daneben befinden sich gewöhnlich noch einige Anteile Wasserstoff und Kohlenwasserstoff (S. 110 I).

Welche grofsen Mengen nutzbaren Brennstoffs in dieser Weise täglich aus dem Hochofen entweichen, läfst sich unschwer berechnen. Auf je 1 kg Brennstoff, welcher dem Hochofen zugeführt wird, entweichen aus der Gicht im Mittel etwa 4,5 cbm Gas mit 1,1 cbm Kohlenoxyd [1]). Gröfsere Kokshochöfen verbrauchen täglich mindestens 100 t, nicht selten 150 t und mehr Brennstoff. Bei einem Verbrauche von 100 t entweichen demnach 110 000 cbm Kohlenoxyd täglich, oder in der Sekunde 1,25 cbm, durch deren Verbrennung in der Sekunde 3750 W.-E. entwickelt werden können [2]). Hierbei ist die durch Verbrennung des in den Gichtgasen miterfolgenden Wasserstoffs und Kohlenwasserstoffs entwickelte Wärme noch unberücksichtigt geblieben. Gemäfs dem mechanischen Äquivalent der Wärme würde jene Wärmemenge einer Arbeitsleistung von mehr als zwanzigtausend Pferdestärken entsprechen, und wenn auch in Rücksicht auf die unvermeidlichen Wärme- und Arbeitsverluste bei unseren Feuerungsanlagen und Maschinen von jener theoretischen Leistung nur ein verhältnismäfsig kleiner Teil wirklich nutzbar gemacht werden kann, so erklärt sich doch zur Genüge, dafs die Wärmeerzeugung durch Verbrennung der Gichtgase bei nur einigermafsen zweckmäfsigen Einrichtungen ausreichend ist, sowohl die erforderliche Arbeit für die zum Betriebe des Hochofens erforderlichen Maschinen (Gebläse, Gichtaufzüge, Pumpen) zu erzeugen, als auch daneben den Gebläsewind auf eine hohe Temperatur zu erwärmen, und dafs in manchen Fällen noch Gas für Nebenzwecke übrig bleibt. Von der gesamten Gaserzeugung eines gröfseren Hochofens pflegt ein Viertel bis ein Drittel für die Winderhitzung benutzt zu werden, die genannten, für die Zwecke des Hochofens allein betriebenen Maschinen gebrauchen bei zweckmäfsigen Heizvorrichtungen ein Drittel bis die Hälfte des Gases; der Rest kann demnach zum Betriebe sonstiger Vorrichtungen (z. B. von Dynamomaschinen für elektrische Beleuchtung) Verwendung finden. Bei kleineren Anlagen ist man dagegen mitunter gezwungen, noch Kohle zur Dampfkesselfeuerung mit zu verwenden. Statt mit dem Gase Dampfkessel zu heizen, hat man neuerdings angefangen, unmittelbar Gaskraftmaschinen damit zu treiben und so die Dampfkesselanlage entbehrlich zu machen [3]). Neben der Vereinfachung der Anlage ergibt sich hierbei der Vorteil einer günstigeren Ausnutzung des

[1]) Die Ziffer ist abhängig von der Zusammensetzung der Beschickung, dem Verlaufe der Reduktion (durch Kohle oder durch Kohlenoxyd) und anderen Umständen. Ermittelungen hierüber: C. Stöckmann, Die Gase des Hochofens und der Siemens-Generatoren, Ruhrort 1876, S. 35; Gruner-Steffen, Analytische Studien über den Hochofen, Wiesbaden 1875; Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1882, S. 2 (Friederici); „Stahl und Eisen“ 1890, S. 591 (Gredt).

[2]) 1 cbm Kohlenoxyd wiegt 1,25 kg; 1 kg entwickelt 2400 W.-E. (S. 56 I), also 1 cbm 3000 W.-E.

[3]) Das Verdienst, auf die Vorteile der Benutzung von Gaskraftmaschinen bei Hochofenanlagen zuerst hingewiesen zu haben, gebührt Lürmann. In einem von ihm am 2. Mai 1886 vor dem Westfälischen Bezirksverein deutscher Ingenieure gehaltenen Vortrage findet sich folgende Äufserung: „Mit einer guten Gasmaschine müfste man auf Hochofenlagen mit den Gichtgasen, welche die Hälfte der Koks unverbrannt als Kohlenoxyd enthalten, alle Maschinenleistungen billiger als bisher erreichen können.“ (Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1886, S. 704). Die erste durch Hochofengas betriebene Maschine wurde 1897 auf dem

Brennwerts der Gase[1]). Eine grofse Zahl solcher unmittelbar durch Hochofengase betriebener Maschinen für Gebläse, Dynamos und andere Zwecke ist bereits in Benutzung, und nach den vorliegenden Ergebnissen ist nicht mehr zu bezweifeln, dafs sie berufen sind, mit der fortschreitenden Vervollkommnung ihrer Einrichtung die Dampfmaschine mehr und mehr zu verdrängen[2]).

Obschon also wirtschaftliche Gründe eine genügende Veranlassung zur Benutzung der Gichtgase zu geben vermögen, und obschon die lebhafte, unter starker Wärmeentwicklung aus der Gicht herausschlagende Flamme eines Hochofens, dessen Gase nicht entzogen wurden, längst auf deren Brennwert hätte aufmerksam machen können, liefs man doch bis zum Ende des 18. Jahrhunderts diese Gase ziemlich unbenutzt entweichen, oder man verwendete höchstens die von der Gichtflamme selbst ausgehende Wärme zum Trocknen von Gufsformen oder für ähnliche untergeordnete Zwecke. Da die Hochöfen der damaligen Zeit meistens noch mit Wasserkraft betrieben, die Winderhitzung aber weit später eingeführt wurde und die Preise des Brennstoffs verhältnismäfsig gering waren, fehlte eben die Veranlassung zu umfänglicheren Versuchen in dieser Richtung.

Diese Verhältnisse erklären es auch, dafs die ersten gröfseren Versuche zur Benutzung der Gichtflamme, welche 1809 durch Aubertot auf einer Eisenhütte des Cher-Departements[3]) angestellt wurden, sich auf die Heizung von Öfen erstreckten, welche ohne alle Beziehung zum Hochofenschmelzen standen: Zementieröfen, Kalkbrennöfen u. a. Man baute die betreffenden Vorrichtungen auf die Gicht des Ofens und liefs die Gichtflamme, ohne die Gase dem Hochofen selbst zu entziehen, hindurchstreichen. Von einer Gasfeuerung im engeren Sinne konnte demnach bei diesem Verfahren noch nicht die Rede sein.

Die ersten erfolgreichen Versuche, die Gase im unverbrannten Zustande dem Hochofen zu entziehen, um sie an einem beliebigen anderen Orte zu verbrennen, wurden erst im Jahre 1837 von Faber du Faur in Wasseralfingen gemacht, und der Erfolg gab dann letzterem die Anregung zur weiteren Ausbildung der Gasfeuerung überhaupt und zur Darstellung von Heizgasen in besonderen Gaserzeugern[4]).

---

schottischen Eisenwerke zu Wishaw in Betrieb gesetzt, Versuche in gröfserem Mafsstabe bald darauf zu Seraing in Belgien angestellt. Seit jener Zeit hat die Benutzung der Hochofengase für diesen Zweck bereits grofse Bedeutung erlangt.

[1]) Nach einer Berechnung Lürmanns in „Stahl und Eisen" 1899, S. 484, wird bei der Benutzung der Gase zum Betriebe von Gaskraftmaschinen die 3,6-fache Wärmemenge nutzbar gemacht als bei der Benutzung zum Betriebe von Dampfmaschinen. Der stündliche Gasverbrauch zur Erzeugung von 1 Pferdestärke beträgt nach Lürmann bei mittlerer Zusammensetzung des Gases 3,5 cbm (vergl. auch „Stahl und Eisen" 1901, S. 508; nach Ehrhardt 2,8 bis 3,7 cbm, je nachdem die Maschine ihrer vollen Leistungsfähigkeit gemäfs beansprucht wird oder nicht („Stahl und Eisen" 1905, S. 640).

[2]) Näheres in den unter Literatur genannten Abhandlungen.

[3]) Journal des mines, Bd. 35 (1814), S. 375.

[4]) Vergleiche S. 106 I. Näheres über die Erfindung: J. Schall, Geschichte des Hüttenwerks Wasseralfingen, Stuttgart 1896; daraus in „Stahl und Eisen" 1896, S. 859.

Ziemlich lange dauerte es jedoch, bis das Verfahren sich einer allgemeineren Anwendung erfreuen konnte. Obgleich inzwischen die vermehrte Anwendung von Dampfkraft für den Hochofenbetrieb und die Einführung der Anwendung erhitzten Windes die Veranlassung zur Benutzung der Gichtgase näher als früher gerückt hatte, gelang es doch häufig nicht, die Gase in solcher Weise dem Hochofen zu entziehen, daſs nicht eine Schädigung des regelrechten Verlaufs des Hochofenschmelzens damit verknüpft gewesen wäre. Um ein reichhaltiges Gas zu bekommen, beging man gewöhnlich den Fehler, die Gase aus einer allzu tiefen Zone des Hochofens abzuleiten, ehe sie noch ihre Aufgabe, als Reduktionsmittel zu dienen, erfüllt hatten; bei der geringeren Höhe der damaligen Öfen rächte sich dieser Fehler durch Vermehrung der Reduktion durch festen Kohlenstoff (S. 311 I) und demnach Erhöhung des Brennstoffverbrauchs. Was auf der einen Seite gewonnen wurde, ging durch diese üble Folge der falsch angelegten Gasentziehung wieder verloren.

Infolge dieser Miſserfolge kehrte man vielfach wieder zu dem von Aubertot mehrere Jahrzehnte zuvor eingeführten Verfahren zurück: man legte die zu heizenden Öfen — Dampfkessel und Winderhitzer — auf die Gicht des Hochofens, so daſs sie von der bereits gebildeten Gichtflamme getroffen wurden, und noch in den siebziger Jahren des neunzehnten Jahrhunderts konnte man bei einzelnen Holzkohlenhochöfen eine derartige Einrichtung antreffen. Je höher aber die Öfen gebaut wurden, als desto schwerfälliger, unzweckmäſsiger muſste sich eine solche Anordnung erweisen, während andrerseits die nachteiligen Einflüsse der Gasentziehung sich verringerten, wenn der Ofen gröſsere Abmessungen erhielt, und schlieſslich vollständig verschwanden, nachdem man geeignetere Einrichtungen als früher für die Ableitung der Gase getroffen hatte.

Es ist deshalb in der Jetztzeit allgemein üblich, die Gase im unverbrannten Zustande dem Hochofen zu entziehen und sie in Leitungen nach den auf ebener Erde befindlichen zu heizenden Vorrichtungen zu führen. Die Einrichtungen aber, mit deren Hilfe dieses Ziel erreicht wird, sind ziemlich mannigfaltig.

Die Gasfänge.

Allgemeine Anordnung.

Einen Gasfang nennt man eine am Hochofen angebrachte Vorrichtung, welche die im Ofen entwickelten Gase, bevor sie mit der Luft in Berührung treten und verbrennen können, aufnimmt, und aus welcher sie alsdann durch Leitungen ihrem Bestimmungsorte zugeführt werden.

Bei Faber du Faurs Gasfang dienten Öffnungen, welche im Ofenschachte unterhalb der Gicht ausgespart waren und in einen um den Schacht herumlaufenden Kanal mündeten, zum Austreten der Gase. Die Beschickungssäule oberhalb der Öffnung muſste als Absperrung dienen; je tiefer unterhalb der Gicht demnach die Öffnungen lagen, desto vollständiger wurden die Gase entzogen.

Hieraus enstand der erwähnte Mifserfolg, welcher sich um so mehr geltend machte, je kleiner der Ofen war. Die Abb. 147 zeigt die Einrichtung des Gasfangs von Faber du Faur, welcher jetzt nur noch geschichtliche Bedeutung besitzt.

Eine ganze Gruppe von Gasfängen, welche teilweise jetzt noch in Benutzung sind, beruht jedoch auf denselben Grundsätzen, wie der von Faber du Faur erfundene: offene Gicht und Absperrung durch die Beschickung selbst.

Wenn bei den gröfseren Hochöfen der Jetztzeit jene besprochene Benachteiligung des Schmelzganges durch die Entziehung der Gase unterhalb der Beschickungsoberfläche keine Rolle mehr spielt, sofern man die Austrittsöffnungen nicht allzu tief im Ofen anordnet, so ist doch bei offener Gicht, eben weil jene Öffnungen nicht sehr tief liegen dürfen, eine vollständige Entziehung der Gase nicht möglich. Aufserdem wechselt bei offener Gicht die Menge der gewonnenen Gase stetig während des Schmelzens; sie ist unmittelbar nach dem Aufschütten, wo die über den Öffnungen lagernde Beschickung den gröfsten Widerstand gegen das Aufsteigen bietet, am beträchtlichsten und verringert sich mit dem Niedergehen der Beschickungsoberfläche. Durch eine Nachlässigkeit oder durch zufällige Vorkommnisse kann es geschehen, dafs die Beschickungsoberfläche bis unter die Gasentziehungsöffnungen sinkt; die Gasentziehung hört alsdann ganz auf.

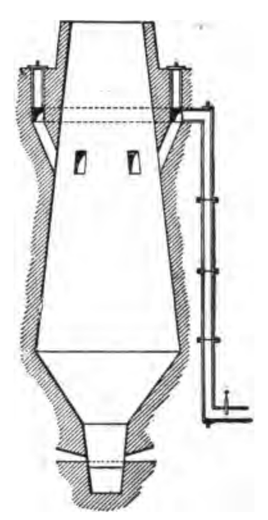


Abb. 147.

Man schlofs also später vielfach die Gicht durch einen aufgelegten Deckel, welcher sämtliche Gase zwang, in die Leitung einzutreten, gleichviel ob die Beschickungsoberfläche hoch oder niedrig stand, ja selbst dann, wenn die Entziehungsöffnungen oberhalb der Beschickungsoberfläche sich befinden sollten. Dieser Deckel mufs aber bei jedem frischen Aufschütten emporgehoben werden, und je längere Zeit dieses Aufschütten beansprucht, desto gröfser ist hierbei der Gasverlust. Der Nachteil läfst sich abmindern, wenn man den Gichtverschlufs so einrichtet, dafs die aufzuschüttenden Körper, während die Gicht noch verschlossen gehalten wird, rings um den Verschlufs herum angehäuft werden können, um dann rasch in die Gicht einzustürzen, sobald der Verschlufs geöffnet wird. Die Zeitdauer des Öffnens wird hierdurch abgekürzt; notwendig ist es jedoch, dem Gichtverschlusse eine solche Einrichtung zu geben, dafs die beim Öffnen einstürzenden Körper sich im Ofen selbsttätig so verteilen, wie es zur Erzielung eines regelmäfsigen Schmelzgangs erforderlich ist. Da beim Niedergange der Schmelzsäule die Erze als die schwereren Bestandteile das Bestreben besitzen, um die Achse des Ofens herum sich anzuhäufen, hier den Gasen den Durchgang erschwerend, ist es

meistens zweckdienlich, beim Aufgichten die Erze am Umfange, die Brennstoffe in der Mitte des Ofenquerschnitts aufzuschütten, außerdem aber tunlichst eine Auflockerung der einstürzenden Körper um die Ofenachse herum zu bewirken. Die unten gegebenen Beispiele solcher Gasfänge mit Gichtverschlufs und selbsttätiger Aufgichtung werden erkennen lassen, in welcher Weise dieses Ziel erreicht ist.

Beispiele bewährter Gasfänge.

Ringförmiger Gasfang. Dieser durch Einfachheit ausgezeichnete Gasfang wurde durch Pfort 1842 auf dem kurhessischen Eisenwerke Veckerhagen eingeführt, und man hat ihn deshalb in Deutschland Pfortschen Gasfang genannt. Da er besonders häufig auf belgischen Eisenwerken zur Anwendung kam, nennt man ihn auch mitunter belgischen Gasfang oder der

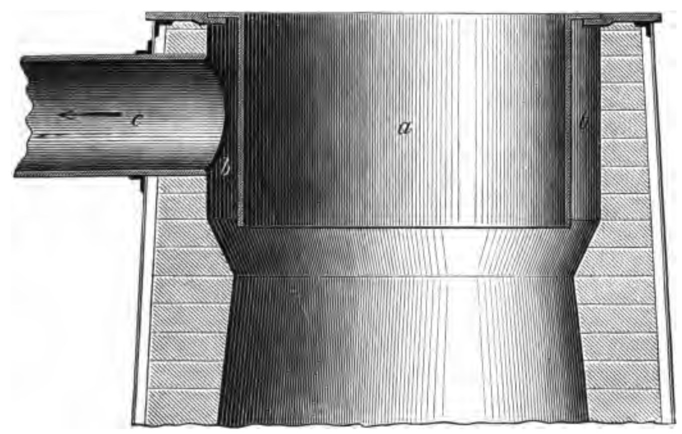


Abb. 148.

dort üblichen Bezeichnung gemäfs Trémie. Die Abb. 148 läfst seine Einrichtung erkennen. In die Gicht wird ein aus Gufseisen oder Eisenblech gefertigter Zylinder *a* eingehängt, dessen innerer Raum die eigentliche Gichtöffnung bildet. Zwischen diesem und der Ofenwand ist ein ringförmiger Kanal *b* von 25 bis 50 cm Breite ausgespart, in welchen die Gase eintreten, um von hier durch das Rohr *c* ihrem Verbrauchsorte zugeführt zu werden. Nicht selten hat man auch statt des einen Ableitungsrohres deren mehrere an verschiedenen Stellen des Umfangs angebracht, um solcherart der Gefahr zu begegnen, dafs die Gase beim Aufsteigen zu sehr nach der Seite des Ofens, wo jenes Rohr sich befindet, hingezogen werden [1]).

---

[1]) Studien des Göttingenschen Vereins bergmännischer Freunde Band 5 (1842) S. 1. Ein ähnlicher Gasfang wurde kurz zuvor durch die Franzosen Thomas und Lauveut auf einem französischen Eisenwerke eingerichtet; er bestand aus einem in die Gicht eingehängten Zylinder mit geschlossenem Boden, welcher

Der Kanal *b* wird am besten in der Weise hergestellt, wie die Abbildung veranschaulicht, d. h. durch eine Erweiterung des gemauerten Schachts an der betreffenden Stelle. Der Durchmesser des Eisenzylinders stimmt dann mit dem Schachtdurchmesser unterhalb dieser Stelle überein, und die Ofenbeschickung rückt gleichmäfsig abwärts. Bisweilen führt man auch den Ofenschacht ohne jene Erweiterung bis zur Gicht und gibt dem Zylinder einen entsprechend kleineren Durchmesser, so dafs die Beschickung, sobald sie unter den Rand des Zylinders gelangt, eine Ausbreitung erfährt.

Den Zylinder versieht man an seinem oberen Ende mit einem herumlaufenden Borde, mit welchem er in einem Gufseisenkranze hängt, der auf dem Ofenschachte aufruht. Auf diese Weise ist eine leichte Auswechslung möglich. Nicht selten hat man auch, wie bei dem in Abb. 126 auf Seite 51 abgebildeten Ofen, den obersten Teil des Ofenschachts vollständig aus Eisen hergestellt, gewissermafsen als Aufsatz auf den gemauerten Schacht, wodurch das Einhängen des Zylinders sowie die Anbringung der Abzugsrohre erleichtert wird.

Der beschriebene ringförmige Gasfang ist billig in der Anlage, leicht auswechselbar, und er hat dieser Vorzüge halber bis zur Jetztzeit Verwendung gefunden, zumal bei Holzkohlenhochöfen, welche leicht reduzierbare Erze verhütten. Will man eine vollständigere Entziehung der Gase erreichen, als es bei offener Gicht möglich ist, so schliefst man die Gicht durch einen Deckel, welcher durch Ketten mit Gegengewichten oder in anderer Weise gehoben und gesenkt werden kann. Einen Nachteil dieses Gasfangs bildet der Umstand, dafs durch die Anordnung der Austrittsöffnung am Umfange des Schachts dem ohnehin vorhandenen, für den Gang des Hochofens nachteiligen Bestreben der Gase, an dem Umfange emporzusteigen, noch mehr Vorschub geleistet wird. Je schwerer reduzierbar die Erze sind, desto deutlicher mufs dieser Übelstand zur Geltung gelangen.

Darbys Gasfang (Zentralrohr). Dieser Gasfang wurde in der Mitte der fünfziger Jahre des neunzehnten Jahrhunderts eingeführt und hat den Zweck, durch Entziehung der Gase aus der Mitte des Ofens den erwähnten Nachteil des zuvor beschriebenen ringförmigen Gasfangs zu beseitigen. Die Abb. 149 (S. 78) zeigt seine Einrichtung.

a ist das aus Eisenblech gefertigte Rohr, welches an seinem oberen Ende in das wagerechte (bei neueren Anlagen gewöhnlich schräg abwärts führende) Ableitungsrohr endigt. Letzteres ist nach der entgegengesetzten Seite hin etwas verlängert, teils, damit hier eine Reinigungsvorrichtung *b* zur Entfernung von abgelagertem Gichtstaube aus dem Rohre angebracht werden kann, hauptsächlich auch in Rücksicht auf die notwendige Unterstützung der ganzen Vorrichtung. Diese Unterstützung kann durch eiserne Ständer, die auf der Gicht aufgestellt werden, bewirkt werden, oder man be-

zwar die Gase zwang, seitlich zu entweichen, aber augenscheinlich vor dem jedesmaligen Aufgichten erst entfernt werden mußte. Abbildung dieses Gasfangs: L. Beck, Geschichte des Eisens, Band 4, S. 516; s. auch Wedding, Eisenhüttenkunde 2. Aufl., Band 3, S. 352.

nutzt, wo eine eiserne Gichteinfassung (in der Abbildung mit *c* bezeichnet) vorhanden ist, diese zu demselben Zwecke, indem man die Rohre von ihr tragen läfst.

Das Rohr *a* ist entweder zylindrisch oder es verengt sich, wie bei dem abgebildeten Gasfange, schwach nach unten, wodurch die Reibung der niederrückenden Schmelzsäule verringert wird.

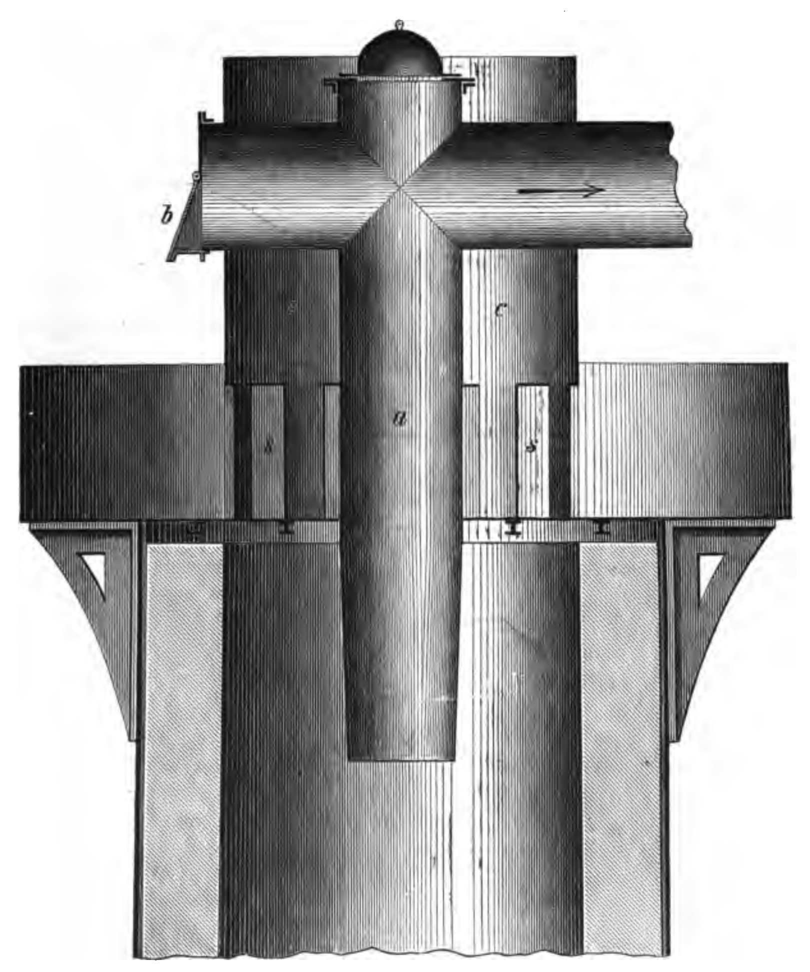


Abb. 149.

Je gröfser der Durchmesser des Rohrs ist, desto leichter können die Gase in das Rohr eintreten, aber desto enger wird auch der rings um das Rohr herum bleibende Raum zum Aufgichten der Schmelzstoffe, und desto stärker müssen die letzteren unterhalb des Rohrs nach der Mitte hin sich ausbreiten. Gewöhnlich findet man den Rohrdurchmesser annähernd gleich einem Drittel des Gichtdurchmessers oder wenig gröfser. Eine weite Gicht ist bei

Anwendung eines solchen Gasfangs notwendig, damit für das Aufgichten rings um das Rohr herum der nötige Raum bleibe.

Das in die Mitte der Beschickung einhängende Rohr bewirkt hier eine für den Schmelzgang nützliche Auflockerung. Mitunter hat man jedoch neben dem Zentralrohre demselben Hochofen auch einen ringförmigen Gasfang gegeben, um einer übermäfsigen Anhäufung der Gase in der Mitte entgegenzuwirken und um die Gasentziehung vollständiger zu machen. Die entzogenen Gase können dann in einer gemeinschaftlichen Leitung vereinigt werden. Bei dem in Abb. 128 auf S. 52 dargestellten Hochofen sind beide Gasfänge erkennbar; auch gewahrt man den Gichtdeckel, dessen innerer Rand zum Zwecke des dichteren Abschlusses in eine am mittleren Rohre befindliche, mit Wasser gefüllte Rinne eintaucht.

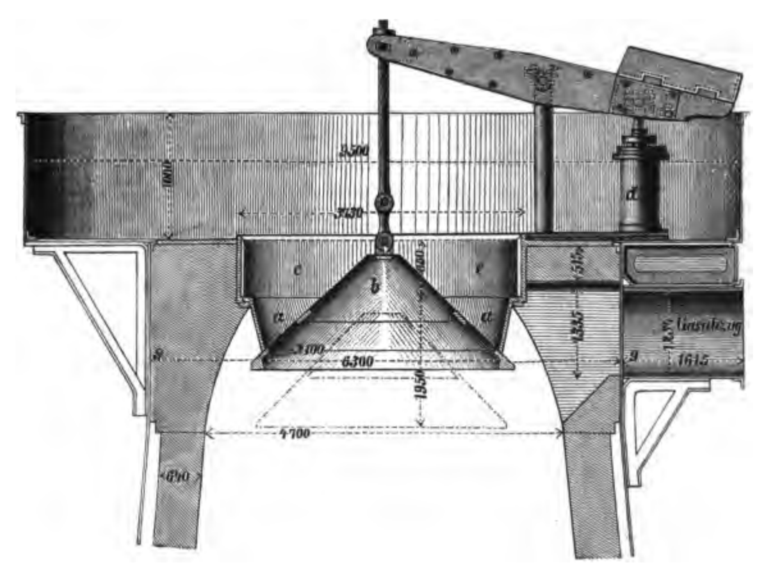


Abb. 150.

Parrys Gasfang. Diese auch unter der Bezeichnung Parryscher Trichter bekannte Vorrichtung ist in der Abb. 150 dargestellt. Auch der Hochofen Abb. 133 besitzt einen gleichen Gasfang. Er ist der älteste jener Gasfänge, welche Gichtverschlufs mit selbsttätiger Einschüttvorrichtung besitzen, und wurde von Parry im Jahre 1850 zuerst auf den Ebbw-Vale-Eisenwerken angewendet. Seitdem hat er besonders in Grofsbritannien und Nordamerika eine häufige Anwendung gefunden; seltener sieht man ihn in dieser ursprünglichen Form auf deutschen Eisenwerken.

Er besteht aus zwei Hauptteilen, dem festliegenden Trichter *a* und dem aus Blech oder Gufseisen gefertigten Kegel *b*, welcher an einer mit Gelenk versehenen Zugstange aufgehängt ist und mit deren Hilfe gehoben und gesenkt werden kann. Den Trichter pflegt man in zwei Stücken zu fertigen, deren unteres *a* mit einem Rande

in einem Ringe des oberen Stückes *c* aufruht, so dafs es ohne Schwierigkeit herausgenommen werden kann, während das Stück *c* fest eingemauert ist. Der gröfste Durchmesser des Kegels *b* ist etwas kleiner als der engste Durchmesser des Stückes *c*, so dafs auch jener aus dem Ofen entfernt werden kann, sobald *a* herausgenommen ist. Diese Einrichtung ist in Rücksicht auf eine etwa erforderlich werdende Auswechslung des Kegels *b* zweckmäfsig.

In der gezeichneten Stellung des Kegels *b* ist die Gicht geschlossen, und die Gase sind gezwungen, in den seitlich angebrachten Gasabzug zu entweichen. Der Raum *ac* zwischen Trichter und Kegel wird inzwischen mit den aufzugichtenden Stoffen (Kohlen, Erzen, Zuschlägen) gefüllt. Senkt man nun den Kegel in die durch Punkte gezeichnete Stellung, so stürzen jene Körper zunächst abwärts auf den Kegel und werden von diesem ringsherum gegen die Wand des Ofens verteilt. Steht die Oberfläche der Beschickung tief unter der Unterkante des Kegels, so werden die gegen die Wand anprallenden Stücke von dieser zurück und nach der Mitte des Ofens hin geworfen; ist dagegen der Kegel bis unmittelbar über die Beschickungsoberfläche gesenkt, so bleiben die abgleitenden Stoffe an der Wand des Ofens liegen. Man hat hierdurch ein Mittel, die Verteilung der Körper zu regeln. Zuerst gichtet man die Kohlen auf, damit diese nach der Mitte hingeworfen werden, und erst nach den Kohlen die Erze und Zuschläge bei entsprechend tiefer Senkung des Kegels.

Um eine Auflockerung der Schmelzsäule in der Mitte des Ofens zu bewirken, ist bei dem Hochofen Abb. 133 ein Zylinder aus Eisenblech eingehängt, welcher verhindert, dafs die eingeschütteten Körper sofort bis zur Mitte vorrollen. Seine Wirkung in dieser Beziehung ist der eines Darbyrohrs (Seite 77) gleich.

Im übrigen ist auch die Form des Kegels und die Gröfse der einzelnen Brennstoffgichten (der in einem Male aufgegebenen Brennstoffmengen) für die Verteilung von Einflufs. Gewöhnlich gibt man dem Kegel eine solche Form, dafs seine Seiten einen Winkel von annähernd 90 Graden einschliefsen. Je steiler der Kegel ist, auf eine desto geringere Entfernung werden unter übrigens gleichen Verhältnissen die gegen die Ofenwand anprallenden Körper von dieser zurückgeworfen; je gröfser aber die Menge der in einem Male aufgegichteten Stoffe ist, desto weniger leicht kann eine übermäfsige Anhäufung am Rande eintreten, da die zuletzt hinabstürzenden Körper immerhin auf der konkaven Oberfläche der zuerst hineingefallenen und am Rande liegen gebliebenen Körper nach der Mitte zu rollen werden.

Die Bewegung der Glocke (des Kegels) kann durch Anbringung eines Gegengewichts und einer hydraulischen Bremse erleichtert werden. Bei dem Gasfange Abb. 150 befindet sich das Gegengewicht auf dem Ende des Hebels, und die Belastung ist so bemessen, dafs die Glocke, solange sie nicht durch aufgeschüttete Körper belastet ist, ihren höchsten Stand einnimmt, aber sinkt, wenn Belastung stattfindet und sie sich selbst überlassen wird. *d* ist der Bremszylinder, mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit (Glyzerin) gefüllt. Der Raum über dem Kolben steht

mit dem Raume unter dem Kolben durch ein seitlich angebrachtes, in der Abbildung nicht sichtbares Rohr in Verbindung; in diesem Rohre ist ein Hahn eingeschaltet, durch dessen Drehung man die Verbindung sowohl herstellen als unterbrechen kann. In der gezeichneten Stellung der Glocke befindet sich der Kolben des Zylinders unten, darüber steht die Flüssigkeit; ist der Hahn geschlossen, so hält sie den Kolben und somit die Glocke in ihrer Stellung fest. Soll nun der Gichtverschlufs geöffnet werden, nachdem zuvor die einzuschüttenden Schmelzstoffe in den Raum *a* gebracht wurden so dreht man den Hahn; das Gewicht der aufzugichtenden Körper drückt die Glocke nieder, der Kolben im Zylinder *d* steigt, und das Wasser über dem Kolben tritt unter den Kolben. Ist das Einschütten beendet, so geht die nunmehr entlastete Glocke wieder aufwärts, und das Wasser tritt wieder unter den Kolben, sofern man nicht etwa den Hahn inzwischen geschlossen hat[1]).

Ähnlich ist die Einrichtung bei dem Gasfange des Hochofens Abb. 133.

In der Neuzeit versieht man den Parryschen Gasfang häufig mit einem glockenförmigen zweiten Verschlusse, um die beim Öffnen der Gicht sonst unvermeidlichen Gasverluste und Schwankungen der Gasspannung in der Leitung zu vermeiden. Die Anordnung dieses Verschlusses im einzelnen und die Art und Weise des Einbringens der Schmelzstoffe ist verschieden. Als ein Beispiel kann der in Abb. 151 a. f. S. dargestellte Gichtverschlufs eines amerikanischen Hochofenwerks dienen. *a* ist die auf dem Rande des Parryschen Trichters aufsitzende Glocke. Auf ihrem Scheitel befindet sich eine Öffnung, welche in derselben Weise wie der Parrysche Trichter durch einen Kegel *b* verschlossen werden kann, und dieser Kegel bildet zugleich den Boden des darüber befindlichen Füllzylinders *c*. Wenn der letztere mit den zum Aufgichten bestimmten Schmelzstoffen gefüllt, der Parrytrichter aber geschlossen ist, wird der Kegel *b* gesenkt, so dafs die Schmelzstoffe in den Raum zwischen beiden Verschlüssen gelangen. Alsdann wird durch Emporziehen des Kegels *b* der Abschlufs nach aufsen wieder hergestellt, worauf nunmehr durch Senken des unteren Kegels das Einfüllen in den Ofen geschehen kann, ohne dafs ein Gasverlust stattfindet. *dd* sind Klappen, welche bei eintretenden Verpuffungen selbsttätig aufschlagen und so als Sicherheitsvorrichtungen dienen, falls durch Vermischung der unter dem Deckel befindlichen Luft mit den Gichtgasen Knallgas entstanden sein sollte[2]). Auch die unten gegebenen Abb. 211 und 212 zeigen einen Parryschen Gasfang mit doppeltem Verschlufs[3]).

Der Parrysche Trichter besitzt den Vorteil der Einfachheit

---

[1]) Die Einrichtung ist von Wrightson zuerst eingeführt. Vergleiche The Journal of the Iron and Steel Institute 1872, II, S. 236.

[2]) Über sonstige Eigentümlichkeiten des abgebildeten Gasfangs vergleiche „Stahl und Eisen“ 1897, S. 292.

[3]) Sonstige Beispiele neuerer Parryscher Gasfänge: „Stahl und Eisen“ 1895, S. 862 (Gasfang zu Kladno); 1898. S. 855 (Gasfang zu Lorain in Ohio); 1898, S. 890 (verschiedene Gasfänge mit Gichtdeckel).

und ist leicht zu handhaben; mit dem ringförmigen Gasfange nach Pfort teilt er den Nachteil, dafs die Gase an der Ofenwand ihren Abzug nehmen, wo sie ohnehin reichlicher aufzusteigen pflegen, als für den regelmäfsigen Schmelzgang erwünscht ist. Je leichter reduzierbar die Erze sind, desto geringere Bedeutung besitzt dieser Übelstand, wie schon bei der Beschreibung des genannten Gasfangs erwähnt wurde. In Bezirken, wo leicht reduzierbare Erze verhüttet werden (Cleveland, Steiermark), bedient man sich daher mit Vorliebe des Parryschen Gasfangs; in anderen Gegenden hat er sich weniger bewährt.

Von Hoffs Gasfang. In seiner Wirkungsweise beim Aufgichten dem Parryschen Gasfange nachgebildet, verfolgt von Hoffs Gas-

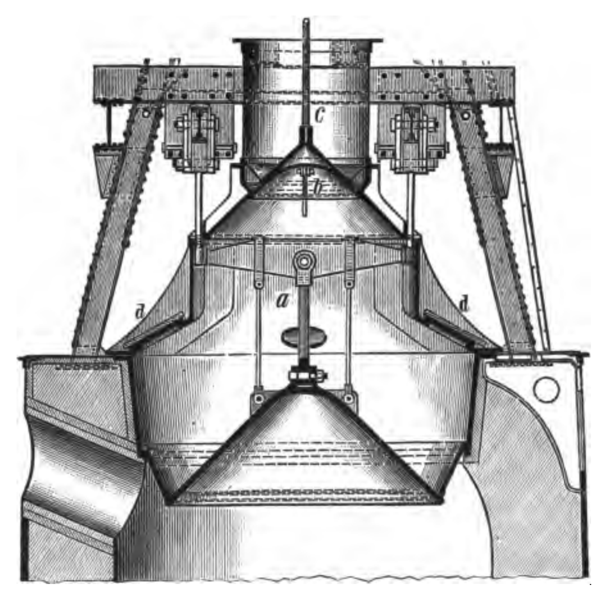


Abb. 151.

fang das Ziel, durch Ableitung der Gase in der Mitte des Ofens den erwähnten Fehler des ersteren Gasfangs zu vermeiden. Er wurde im Jahre 1863 zuerst auf dem Eisenwerk Hörde in Anwendung gebracht und erlangte seitdem besonders auf deutschen Eisenwerken eine ziemlich grofse Verbreitung. In Abb. 152 und 153 ist ein solcher im Jahre 1891 gebauter Gasfang dargestellt. Die Einrichtung des Trichters ist im wesentlichen die nämliche wie bei dem Parryschen Gasfange. Der als Verschlufs dienende Kegel aber endigt nicht wie bei jenem in einer Spitze, sondern läuft in ein weites, nach oben gerichtetes Rohr aus; an dem oberen Rande dieses Rohrs ist eine ringsherum laufende, tiefe Wasserrinne angebracht, und in diese taucht das untere Ende des Gasableitungsrohrs *c* ein. Der Kegel kann auf diese Weise gesenkt werden, ohne dafs seine Verbindung mit dem festliegenden Rohre unter-

Abb. 152.

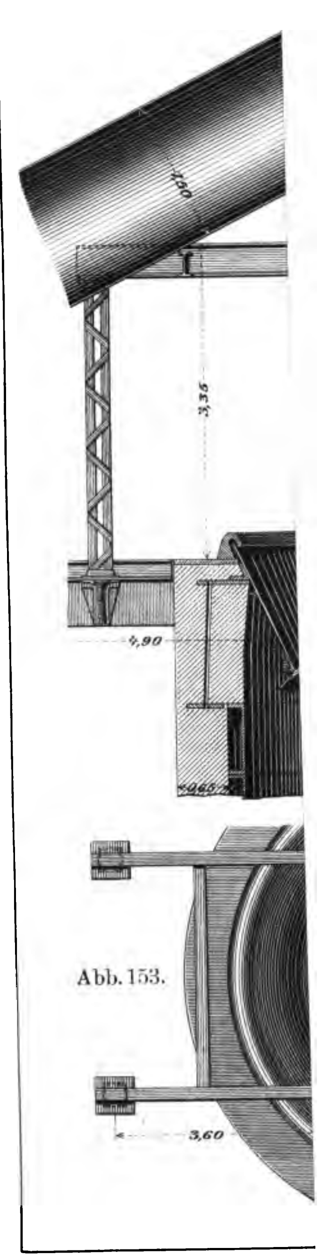


Abb. 153.

Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

alb der
onnten,
t findet
y schen
gen zu
er nach
ildeten

kegels)
bel *dd*,
Glocke
an mit
en be-
ildeten
linder;

ringe

n ge-
racht,
ohne
Ein-
ngen
, an-
hlufs
ieder
chen
Ioch-
n zu
n be-

7 auf

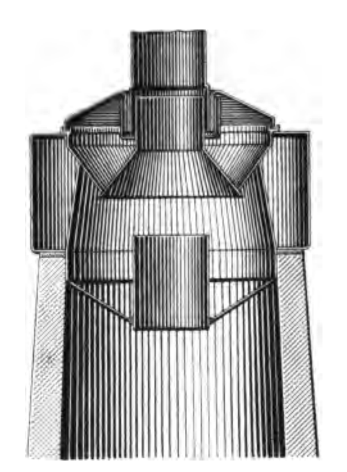
und ist
Pfort
Abzug
für der
reduzie
Übelsta
fangs e
verhütt
mit Ve
hat er

Vo
dem P

fang
erwäl
im J
gebra
werk
ein s
richt
dem
aber
ein v
diese
gebr
rohr
ohne

brochen wird. Ursprünglich liefs man das Rohr *c* oberhalb der Beschickungssäule endigen, so dafs die Gase erst eintreten konnten, wenn sie die Beschickung verlassen hatten; in der Jetztzeit findet man es meistens vorteilhafter, das Rohr, wie das des Darbyschen Gasfangs, um einige Meter in die Beschickung hineinragen zu lassen, um diese dadurch aufzulockern und die Gase stärker nach der Mitte des Ofens hinzuziehen. Auch bei dem abgebildeten Gasfange ist diese Einrichtung gewählt.

Zum Heben und Senken der Glocke (des Verschlufskegels) dienen zwei untereinander durch Streben verbundene Hebel *dd*, welche neben dem Rohre *c* vorbeigehen, und an denen die Glocke in Ketten aufgehangen ist. Die Bewegung der Hebel kann mit Hilfe einer Winde von Hand geschehen; bei gröfseren Öfen benutzt man Dampf- oder Wasserdruck dafür. Bei dem abgebildeten Gasfange ist *a* ein für diesen Zweck bestimmter Dampfzylinder; der kleinere Zylinder *b* dient als Bremse beim Auf- und Niedergange und ist zu diesem Zwecke mit einem Gemische von Glyzerin und Wasser gefüllt, welches durch zwei im Kolben angebrachte Löcher von je 25 mm Durchmesser hindurchzugehen gezwungen wird, sobald der Kolben sich bewegt. Niedergang erfolgt durch das eigene Gewicht, wenn man den Dampf über dem Kolben austreten läfst. Durch ein am Ende der Hebel angebrachtes Gegengewicht wird das Aufziehen der Glocke erleichtert.


Abb. 154.

Um das Schachtmauerwerk vor Beschädigung durch die anprallenden Körper zu schützen, versieht man es zweckmäfsigerweise da, wo beim Senken des Kegels die einstürzenden Körper die Wand treffen, mit einem gufseisernen Schutzringe (in Abb. 152 erkennbar).

Schon von Hoff selbst hatte bei dem ersten der von ihm gebauten Gasfänge dieser Art einen zweiten Verschlufs angebracht, aus einer zum Heben eingerichteten Glocke bestehend, um ohne jeden Gasverlust das Aufgichten bewirken zu können[1]). Die Einrichtung scheint jedoch anfänglich nicht den gehegten Erwartungen entsprochen zu haben und kam in Vergessenheit, bis man, angeregt durch die bei dem Parrytrichter mit doppeltem Verschlufs erlangten günstigen Ergebnisse, sie fast vierzig Jahre später wieder einführte. Die Abb. 154 zeigt einen solchen von Hoffschen Gasfang mit doppeltem Verschlufs bei einem Luxemburger Hochofen. Statt das Gasentziehungsrohr bis in die Gicht hinein zu verlängern, hat man hier, wie bei dem Ofen Abb. 133, einen be-

[1]) Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1863, S. 446 (Fig. 17 auf Blatt 5).

sonderen Zylinder zur Auflockerung der Beschickung in die Gicht eingehängt. Die Vorrichtungen zur Bewegung der beiden Verschlüsse sind im wesentlichen ebenso eingerichtet wie die der bisher beschriebenen Gasfänge [1]).

Langens Gasfang, von dem früheren Hüttendirektor Langen in Friedrich-Wilhelmshütte bei Troisdorf im Anfang der sechziger Jahre des neunzehnten Jahrhunderts eingeführt [2]) und seitdem bis heute vielfach benutzt. Die Abb. 155 und 156 zeigen die Einrichtung dieses Gasfangs. In die Hochofengicht ist der aus Eisen gefertigte Trichter *a* eingelassen, und in diesem ruht etwas oberhalb des unteren Randes der glockenartige Gichtverschlufs *b*. *c* ist das Gasentziehungsrohr, welches man früher oberhalb der Beschickungssäule münden liefs, jetzt in der Regel 2 bis 4 m tief einhängen läfst, um die Beschickung in der Mitte aufzulockern. Auch das Rohr des abgebildeten Gasfangs ist nach unten verlängert. Der innere Rand der Glocke *b* taucht, wie die Abbildung erkennen läfst, in eine am Rohre *c* befestigte Wasserrinne, wodurch dichter Abschlufs erzielt wird. Zum Anheben der Glocke dient ein ebensolches Hebelwerk wie bei dem von Hoffschen Gasfange, welches durch eine Winde, durch Dampf- oder Wasserdruck, bisweilen auch durch elektrischen Antrieb [3]) oder Luftdruck [4]) bewegt wird. Während die Glocke geschlossen ist, werden die zu gichtenden Schmelzstoffe in den Trichter *a* eingeschüttet; dann wird die Glocke gehoben, und die Körper stürzen in die Gicht.

Die Wirkung der Aufgichtvorrichtung des Langenschen Gasfangs ist etwas anders als diejenige des Parryschen und von Hoffschen Gasfangs. Bei diesen werden die Körper beim Hineinstürzen zunächst gegen die Ofenwand und von der Ofenwand erst teilweise zurück nach der Mitte des Ofens hin geworfen; bei dem Langenschen Gasfange stürzen sie ohne weiteres nach der Mitte des Ofens hin und rollen erst, wenn hier sich eine kegelförmige Anhäufung gebildet hat, von dieser seitwärts den Wänden zu. Man schüttet auch hier die Kohlen zuerst ein, damit sie jene Anhäufung in der Mitte bilden, und füllt dann die Erze nach.

Einen Vorzug des Langenschen Gasfangs bildet der Umstand, dafs der Ofen bis fast unter die Glocke gefüllt werden kann, während bei dem Parryschen und von Hoffschen Gasfange immerhin der zum Senken des Kegels erforderliche Raum frei bleiben mufs. Aufserdem bleibt die Oberfläche der Beschickung bei dem Langenschen Gasfange von aufsen her in gewissem Mafse zugänglich, sobald die Glocke gehoben ist, während sie bei den anderen beiden Vorrichtungen durch den Kegel der Beobachtung entzogen ist. Dagegen ist der Arbeitsverbrauch zum Öffnen des Gichtverschlusses bei Langens Gasfang gröfser, weil hier beim Anheben der Glocke die Reibung der ringsherum angehäuften Schmelzstoffe überwunden werden mufs. Auf deutschen Eisen-

---

1) Beispiele hierfür: „Stahl und Eisen“ 1905 S. 200.
2) Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1862, S. 462.
3) „Stahl und Eisen“ 1901, S. 515, 1357.
4) „Stahl und Eisen“ 1901, S. 734.

Abb.

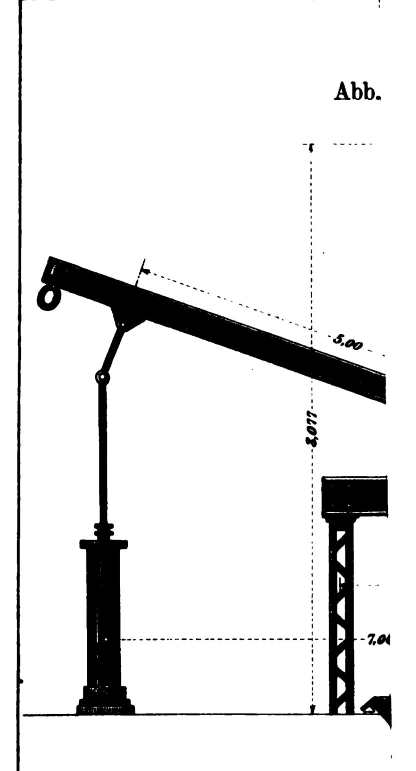
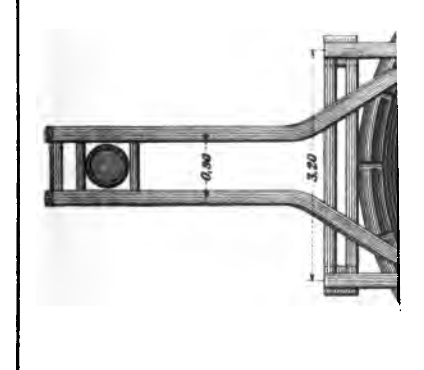


Abb. 156.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

werken wird der Langensche Gasfang am häufigsten benutzt; im übrigen kommt auch die Beschaffenheit der Hochofenbeschickung bei der Entscheidung der Frage in Betracht, welcher Gasfang den Vorzug verdiene. Die Lagerung der einstürzenden Körper gestaltet sich bei Benutzung des von Hoffschen (und Parryschen) Gasfangs etwas anders als bei Benutzung des Langenschen; erst die Erfahrung mufs häufig entscheiden, in welchem Falle der günstigere Schmelzgang erzielt wird. Auch die Menge der mit einem Male aufgegichteten Schmelzstoffe, der Winkel, unter welchem diese in den Ofen stürzen, und andere

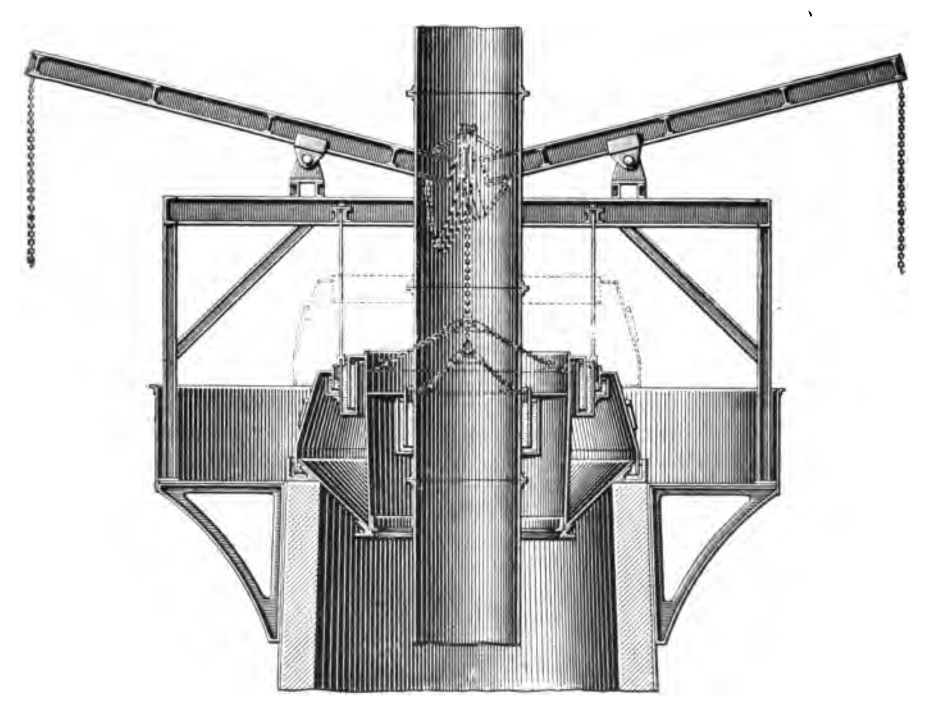


Abb. 157.

Nebenumstände sprechen hierbei mit. Bei Öfen, welche zinkische Erze verarbeiten und in welchen sich demzufolge zinkhaltige Ansätze unterhalb der Gicht, sogenannter Gichtschwamm[3]), bilden, haben der Parrysche und von Hoffsche Gasfang sich mitunter als ungeeignet aus dem Grunde erwiesen, weil durch die gegen die Ofenwand anprallenden Körper der Gichtschwamm losgestofsen wurde, hierbei in die Ofenbeschickung gelangte und den Ofengang verschlechterte.

Auch dem Langenschen Gasfange hat man in neuerer Zeit mitunter eine zweite Glocke zu dem Zwecke gegeben, das Entweichen

[1]) S. 376 I; vergleiche auch unten: Nebenerzeugnisse des Hochofenbetriebes.

von Gasen zu verhüten, während die Gicht geöffnet ist. Die Anordnung dieser zweiten Glocke ist dann ähnlich wie bei dem von Hoffschen Gasfange; ihr innerer Rand taucht in eine Wasserrinne, welche am Umfange der unteren Glocke befestigt oder auch an Bolzen aufgehangen ist, um das Gewicht der unteren Glocke zu verringern. Abb. 157 a. S. 85 (Gasfang zu Sophienhütte) zeigt die letztere Einrichtung. Für die Bewegung jeder der beiden Glocken ist ein besonderes Hebelwerk vorhanden. Die Stellung der oberen Glocke während des Einschüttens der Schmelzstoffe ist durch Linien in Punkten veranschaulicht. Sicherheitsklappen auf dem Umfange der oberen Glocke dienen zur Verminderung der Gefahr einer Beschädigung bei eintretenden Verpuffungen [1]).

Die Leitungsrohre und Reinigungsvorrichtungen.

Die Leitungsrohre.

Für die Herstellung der Leitungsrohre benutzt man Eisenblech, und man gibt ihnen bei kleineren Holzkohlenhochöfen Durchmesser von 0,3 bis 0,5 m, bei gröfseren, mit Koks betriebenen Hochöfen 1,5 bis 2,5 m und mitunter darüber.

Die Geschwindigkeit der Gase in einer Leitung von gegebenem Durchmesser läfst sich aus dem Brennstoffverbrauche des Ofens und der Temperatur der Gase annähernd berechnen. Man kann annehmen, dafs im Mittel für je 1 kg aufgegichteten Brennstoffs im Hochofen 4,5 cbm Gichtgase von Null Grad Temperatur erfolgen, welche nach der Gleichung $v_1 = v\ (1 + 0{,}00366\ t)$ ihren räumlichen Inhalt vergröfsern [2]). In der Gleichung bezeichnet v_1 den Rauminhalt der heifsen Gase, v den Rauminhalt bei gewöhnlicher Temperatur, t die Temperatur, welche beim Beginne der Leitung bisweilen mehrere Hundert Grad beträgt.

Eine erheblich gröfsere Geschwindigkeit der Gase als 3 m in der Sekunde ist nicht erwünscht; mitunter freilich bewegen sich die Gase mit einer Geschwindigkeit von 6 m und darüber [3]).

Bei dem Betriebe mehrerer Hochöfen lassen sich die sämtlichen Gase in einem gemeinschaftlichen Sammelrohre vereinigen.

Bei den Öfen mit geschlossener Gicht ist die Anbringung einer Vorrichtung zweckmäfsig, welche die Entlassung eines etwaigen Gasüberschusses ermöglicht, falls aus irgendeinem Grunde eine augenblickliche Verwendung dafür fehlt. Sie besteht gewöhnlich

---

[1]) Abbildung einer etwas geänderten Einrichtung des Gasfangs zu Sophienhütte enthält Wedding Eisenhüttenkunde, 2. Aufl., Band 3, S. 378.

[2]) Steffen gibt an, daß bei gaarem Gange des Hochofens und 40 bis 45 v. H. Ausbringen das Gesamtgewicht der erfolgenden Gase das 5½fache vom Gewichte des Koks betrage, was bei dem Rauminhalte eines Kilogramms = 0,75 cbm eine Gesamtmenge von 4,3 cbm ergeben würde („Stahl und Eisen" 1883, S. 70; 1887, S. 306); Osann berechnet theoretisch die Gichtgasmenge für 127 kg verbrauchter Koks zu 553 cbm, also für je 1 kg Koks ebenfalls zu 4,3 cbm („Stahl und Eisen" 1888, S. 592).

[3]) Beispiel: „Stahl und Eisen" 1883, S. 70.

aus einer Haube auf der höchsten Stelle des Entziehungsrohres, welche durch Hebel und Kette geöffnet werden kann. Die Abb. 152 und 155 lassen diese Einrichtung erkennen.

Notwendig bei allen Gasfängen, welche die Gase oberhalb der Beschickungssäule entziehen, ohne mit Doppelverschlufs versehen zu sein, und zweckmäfsig auch bei den übrigen ist ferner die Anordnung einer Absperrvorrichtung in der Leitung nahe der Gicht, damit man die Leitung schliefsen und das Eintreten äufserer Luft verhindern kann, während die Gicht geöffnet ist. Ein Ventil erfüllt diesen Zweck. In Abb. 155 sieht man dieses Absperrventil am oberen Ende des rechts befindlichen, abwärts führenden Rohrs. Durch eine Kette mit Hebel wird das Heben und Senken des Ventils bewirkt; mitunter verbindet man auch durch eine über Rollen geführte Kette die Ventilstange mit den Hebeln, welche zur Bewegung der Gichtglocke dienen, derartig, dafs das Ventil selbsttätig geschlossen wird, wenn man den Gichtverschlufs öffnet, und umgekehrt. Damit die Gase nun, solange die Leitung abgesperrt ist, nicht sämtlich aus der geöffneten Gicht entweichen und den Arbeitern den Aufenthalt hier erschweren, öffnet man währenddem die Haube auf dem Scheitel des Entziehungsrohres und läfst die Gase hier austreten.

Ebensolche oder ähnliche Absperrvorrichtungen werden in die Leitung an den Stellen eingeschaltet, wo Abzweigungen sich befinden. Mitunter benutzt man auch Drosselklappen hierfür, seltener Schieber, deren Bewegung leicht durch abgelagerten Staub erschwert wird.

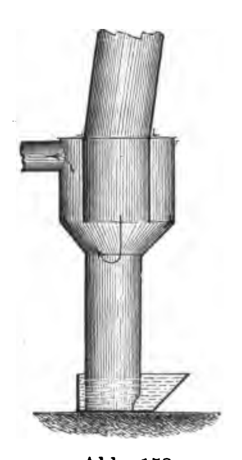
Die Reinigungsvorrichtungen.

Die Gichtgase sämtlicher Hochöfen führen Wasserdämpfe und Gichtstaub mit, dessen Zusammensetzung und sonstige Beschaffenheit bei Besprechung der Nebenerzeugnisse des Hochofens ausführlichere Erwähnung findet.

Die Menge des Wasserdampfs richtet sich nach dem Wassergehalte der Beschickung und pflegt bei Hochöfen, welche wasserarme Erze verhütten, 5 bis 10 v. H. des Gewichts der entweichenden flüchtigen Körper zu betragen, kann aber bei Verhüttung wasserreicher Brauneisenerze auf 20 v. H. und darüber steigen. Die Menge des Gichtstaubs ist von der Zusammensetzung der Beschickung und der im Hochofen herrschenden Temperatur abhängig. Zinkische Erze und solche Erze und Zuschläge, welche beim Niedergange im Hochofen verhältnismäfsig rasch zerfallen, liefern reichliche Mengen von Staub. Kalkreiche Beschickungen, deren Kalkgehalt beim Brennen in Pulver zerfällt, liefern daher staubreiche Gase; besonders unvorteilhaft in dieser Beziehung zeichnet sich manche Minette Luxemburgs und Lothringens aus, bei deren Verhüttung sehr erhebliche Mengen von Staub durch den Gasstrom davongeführt werden. Eine hohe Temperatur im Hochofen befördert die Entstehung verschiedener flüchtiger Körper, welche mit den Gasen davongehen und später ebenfalls als Staub abgelagert werden können. Während der Staubgehalt staubarmer

Gase mitunter nicht über 1 g in 1 cbm beträgt, kann er bei staubreichen auf 30 bis 40 g steigen[1]).

Beide Körper, der Wasserdampf wie der Gichtstaub, erniedrigen durch ihre Anwesenheit die Verbrennungstemperatur der Gichtgase, schmälern dadurch die Wärmeausnutzung und können, wo sie in gröfseren Mengen auftreten, sogar die Entzündbarkeit der Gase aufheben. Nicht minder lästig wird bei Benutzung staubreicher Gase zu Heizzwecken der Umstand, dafs der Staub in den Feuerzügen (der Dampfkesselfeuerungen, Winderhitzer) sich ablagert, deren Querschnitt verengt, die Wärmeübertragung erschwert und zur rascheren Zerstörung der feuerfesten Baustoffe beiträgt. Die in der Neuzeit immermehr Eingang findende Benutzung der Gichtgase zum Betriebe von Gaskraftmaschinen aber würde bei grofsem Staubgehalte nur zu Mifserfolgen führen. Man nimmt einen Staubgehalt von 0,03 g in 1 cbm Gas als das höchste zulässige Mafs an, wenn das Gas für den Betrieb von Gaskraftmaschinen Verwendung finden soll, während Gas mit einem Staubgehalte von 0,50 g für die Heizung von Winderhitzern oder Dampfkesseln von manchen Hochofenleuten noch als gut brauchbar angesehen wird. Immerhin ist auch hierbei in Rücksicht zu ziehen, dafs ein höherer Staubgehalt nicht nur häufigere Reinigungen der Heizvorrichtungen notwendig macht, sondern auch die Verbrennungstemperatur des Gases erniedrigt, also die Wärmeausnutzung schädigt.


Abb. 158.

Es ist mithin notwendig, die Gichtgase, ehe sie an den Ort ihrer Verwendung gelangen, einer weitgehenden Reinigung von Staub und Wasserdampf zu unterwerfen. Da eine Ablagerung dieser Körper in der Nähe der Gicht, wo die Reinigung der Röhren schwierig sein würde, nicht wünschenswert ist, gibt man bei neueren Anlagen den vom Gasfange abzweigenden Röhren eine stark geneigte Lage (Abb. 155), während man früher diese Röhren gewöhnlich wagerecht legte (wie bei dem Gasfange Abb. 149) und dann gezwungen war, sie häufig zu reinigen.

Dem Wesen des Reinigungsverfahrens gemäfs unterscheidet man Trockenreinigung und Nafsreinigung.

Der Trockenreinigung werden die Gase sämtlicher Hochöfen unterworfen, sobald sie die Gicht verlassen haben. Im

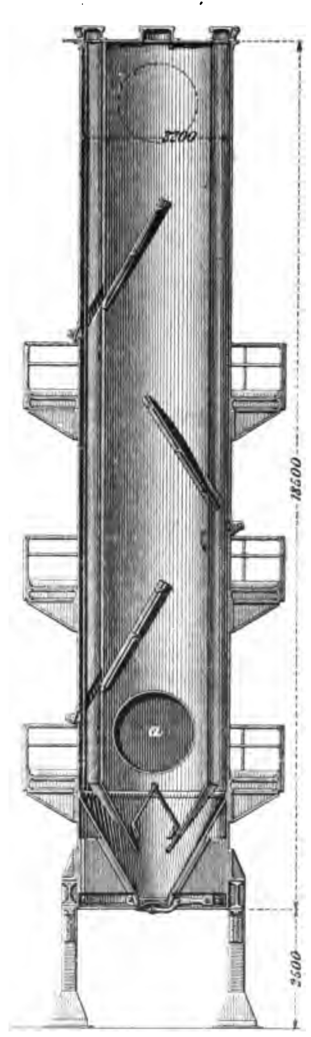
[1]) Stöckmann fand bei den Hochöfen des Eisenwerks Phönix etwa 2 g Staub in 1 cbm Gas (Die Gase des Hochofens und der Siemens-Generatoren, Ruhrort 1876, S. 35); Gredt fand 3 bis 4 g („Stahl und Eisen“ 1890, S. 591). Dagegen teilt Lürmann ein Beispiel mit, bei welchem selbst das gereinigte Gas noch 10,27 g Staub in 1 cbm enthielt, und er gibt an, dafs aus gröfseren Öfen täglich 20000 bis 30000 kg Staub entweichen („Stahl und Eisen“ 1898, S. 250 und 252). Nimmt man die Menge des aus einem solchen gröfseren Ofen täglich entweichenden Gases zu 800000 cbm an, was der Wirklichkeit annähernd entsprechen wird, so ergibt sich ein Staubgehalt in 1 cbm = 25 bis 35 g.

wesentlichen bestehen die Trockenreiniger aus weiten Behältern, durch welche die Gase mit geringer Geschwindigkeit hindurchziehen, hierbei Staub ablagernd, während mit fortschreitender Abkühlung der Gase ihr Wassergehalt mehr und mehr verdichtet wird. An den tiefsten Stellen der Trockenreiniger sind zur Ermöglichung der Entfernung des abgelagerten Staubes und verdichteten Wassers Öffnungen mit Klappen- oder Wasserverschlüssen angebracht, welche so eingerichtet sein müssen, dafs sie bei eintretenden Verpuffungen als Sicherheitsvorrichtungen dienen können, also selbsttätig sich öffnen und sich wieder schliefsen, wenn die Verpuffung vorüber ist.

Wasserverschlüsse benutzt man vorwiegend dann, wenn auf Verdichtung einer reichlicheren Menge Wasser zu rechnen ist, welches dann ununterbrochen durch den Verschlufs abfliefsen kann. Abb. 158 zeigt einen solchen Wasserverschlufs. Selbstverständlich mufs Sorge getragen werden, dafs nach stattgehabten Verpuffungen das herausgeschleuderte Wasser sofort ersetzt wird. Die Einrichtung der Trockenreiniger im einzelnen aber ist ziemlich mannigfaltig.

Fast immer schliefst sich an das vom Gasfang kommende wagerechte oder geneigte Rohr zunächst ein entsprechend weites senkrechtes Rohr an, welches als erster Trockenreiniger dienen kann. In Abb. 128 a. S. 52 ist dieses Rohr nebst dem Wasserverschlufs sichtbar. Will man den Weg der Gase verlängern, insbesondere bei reichlichem Wassergehalte, so führt man die Gase wohl in einem zweiten, danebenstehenden gleichen Rohre wieder aufwärts und in einem dritten wieder abwärts. Ein gemeinschaftlicher Wasserbehälter, in welchen die Rohre eintauchen, dient unten als Abschlufs. An diese erste Reinigungsvorrichtung schliefsen nun häufig abermals Röhren mit sehr grofsem Durchmesser an, um die fernere Ablagerung von Staub zu bewirken. Ihre Lage kann senkrecht oder wagerecht sein. Bisweilen

Abb. 159.



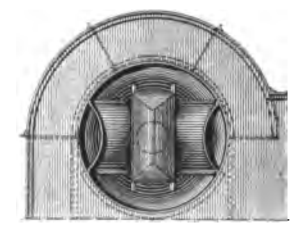


Abb. 160.

bringt man in den Röhren Scheidewände an, welche die Gase zwingen, in Windungen ihren Weg zu nehmen, wodurch die Staubablagerung befördert wird. Die Abb. 159 und 160 a. S. 89 zeigen einen Trockenreiniger dieser Art. Das Gas tritt oben (durch die in Punkten gezeichnete Öffnung) ein und unten bei *a* aus. Der auf den schräg stehenden Blechen abgelagerte Staub fällt in die Seitenkammern und in diesen nach unten, von wo er von Zeit zu Zeit durch Öffnen des Klappenverschlusses entfernt wird. Für die Reinigung gröfserer Gasmengen lassen sich mehrere solcher Reiniger zu einer Gruppe vereinigen.

Eine gebräuchliche Form eines wagerechten Staubfangs mit Klappenverschlufs ist in Abb. 161 und 162 dargestellt. Das Rohr *a*, dessen Durchmesser 2 bis 3 m zu betragen pflegt, ist in solcher Höhe über dem Erdboden angebracht, dafs eine Entleerung in darunter gebrachte Wagen oder Gefäfse ohne Schwierigkeit möglich

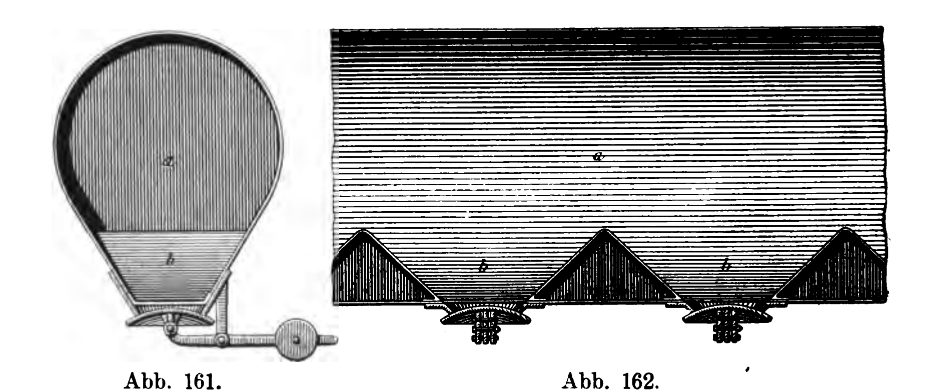


Abb. 161. Abb. 162.

ist. An der unteren Seite des Rohrs sind in Abständen, welche ungefähr gleich dem Rohrdurchmesser oder noch etwas geringer sind, Staubsäcke *bb* angebracht, durch Klappen geschlossen, welche durch Hebel und Gegengewichte in ihrer Lage erhalten werden. Zwischen je zwei Staubsäcken ist ein querlaufender Rücken aus Eisenblech eingesetzt, welcher den Staub den Öffnungen zuführt. Bisweilen läfst man auch die Rücken aus Eisenblech fehlen; zwischen den benachbarten Staubsäcken bildet sich alsdann aus dem abgelagerten Staube selbst ein Rücken, auf welchem der später niederfallende Staub abwärts gleitet.

Will man an Stelle des Klappenverschlusses bei dem Staubreiniger Abb. 161 Wasserverschlufs anwenden, so kann man ihm einen Querschnitt geben, wie in Abb. 163 dargestellt ist. Die früher ziemlich häufig angewendete Einrichtung ist jedoch jetzt selten geworden; man tadelt die ausgedehnte Berührung der Gase mit der Wasseroberfläche, wodurch erstere Gelegenheit finden, sich reichlich mit Wasser zu sättigen [1]).

---

[1]) Über verbesserte Formen dieser Vorrichtung: „Stahl und Eisen" 1897. S. 57 und 58.

Statt der Röhren als Trockenreiniger lassen sich auch weite zylindrische oder prismatische Gefäſse benutzen, durch welche das Gas hindurchstreicht, und welche unten mit Wasser- oder Klappenverschluſs versehen sind. Als Beispiel hierfür kann der in Abb. 164 und 165 a. f. S. dargestellte Staubsammler eines Luxemburger Eisenwerks dienen[1]). Das Gas tritt durch das Rohr rechts ein und zieht durch das links befindliche Rohr weiter. *aab* sind Sicherheitsklappen, welche zugleich den Zugang in das Innere ermöglichen. Statt das Gas einfach durch den Behälter hindurchziehen zu lassen, kann man auch durch Einschaltung von Scheidewänden es zwingen, sich hin und her (auf- und abwärts) zu bewegen und somit einen längeren Weg zurückzulegen; aber seine Bewegungsgeschwindigkeit wird dadurch beschleunigt[2]).

Durch Anwendung solcher Trockenreiniger ist man befähigt, den von den Gasen mitgerissenen gröberen Staub sowie einen reichlichen Teil des Wassergehalts zu entfernen und dadurch ein Gas zu gewinnen, welches bisweilen zur Heizung von Dampfkesseln und Winderhitzern ohne weiteres geeignet ist; eine fernere Reinigung läſst sich durch Einschalten von Kästen erzielen, welche Horden mit Sägespänen enthalten, so daſs die Gase durch diese hindurchzuziehen gezwungen sind[3]).

Häufiger indes findet die Trockenreinigung in einer anschlieſsenden N a f s r e i n i g u n g ihre Fortsetzung, und in allen Fällen ist diese unentbehrlich, wenn das Gas zum Betriebe von Gaskraftmaschinen benutzt werden soll. Auch hierfür gibt es verschiedene Vorrichtungen. Mitunter schaltet man zwischen den zum Trockenreinigen dienenden Vorrichtungen einzelne weite Röhren ein, in welchen Streudüsen zum Einspritzen zahlreicher feiner Wassertropfen angebracht sind. Abb. 166 a. S. 93 zeigt eine solche Vorrichtung[4]). Durch das Wasser wird der Staub niedergeschlagen, das Gas abgekühlt und dadurch sein Wassergehalt verringert. Die Einrichtung ist deshalb besonders bei Hochöfen von Nutzen, welche sehr heiſse Gase liefern. Gase von 120° Temperatur lassen sich beispielsweise auf 40° abkühlen. Das verbrauchte Wasser flieſst unten selbsttätig ab oder wird von Zeit zu Zeit durch Öffnen eines geeigneten Verschlusses (wie bei der abgebildeten Vorrichtung) abgelassen.

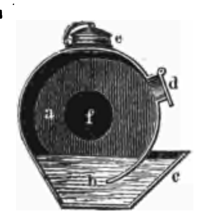


Abb. 163.

Auch Waschvorrichtungen, wie in Abb. 29 a. S. 129 I dargestellt, kommen zur Anwendung. Das Gas zieht aufwärts zwischen den eingelegten Eisenstäben hindurch, welche von oben her mit Wasser berieselt werden.

Wirksamer indes sind Vorrichtungen, bei welchen das Gas durch mechanische Kraft in rasche Bewegung versetzt und dadurch

---

1) Aus „Stahl und Eisen“ 1890, Taf. XI.

2) Abbildung eines Staubfangs der letzteren Art: „Stahl und Eisen“ 1897, Septemberheft Tafel V (Hochofenanlage des Eisenwerks Kraft bei Stettin).

3) Abbildung solcher Kästen: „Stahl und Eisen“ 1901, S. 441, 443.

4) Aus F r ö h l i c h, Die Werke der Gutehoffnungshütte (Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, 1902).

in innigere Berührung mit dem Wasser gebracht wird. Daher haben die Gaswascher dieser Gruppe an Stelle jener einfacheren Vorrichtungen oder neben ihnen fast überall da Verwendung gefunden, wo eine Verringerung des Staubgehalts auf weniger als

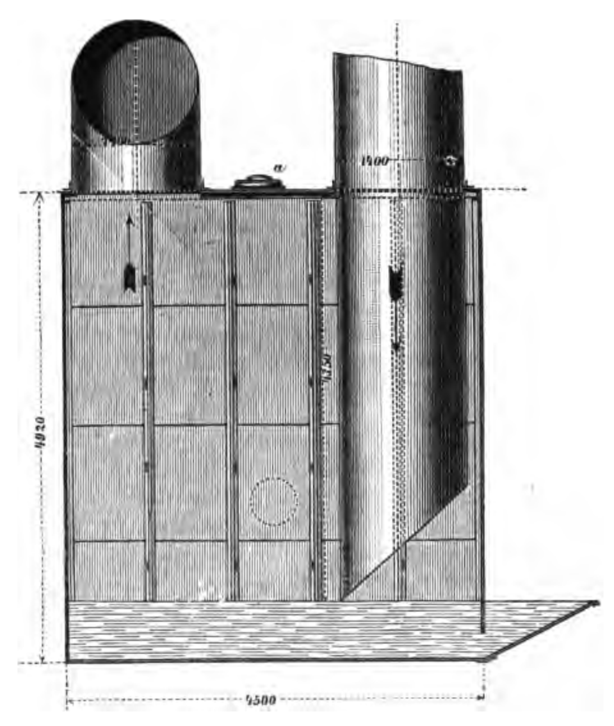


Abb. 164.

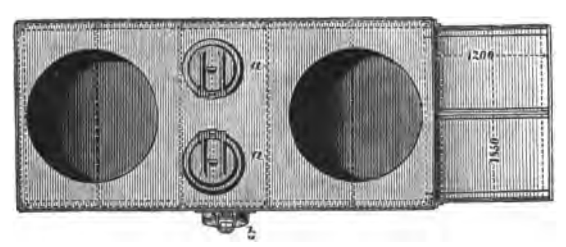


Abb. 165.

0,5 g in 1 cbm Erfordernis ist. Bisweilen benutzt man für den Zweck einen in die Leitung eingeschalteten grofsen Ventilator (Schleudergebläse), durch welchen neben dem Gase Wasser geleitet wird. Durch die rasche Bewegung der Flügel werden die Staub-

teilchen an den Umfang geschleudert und mit dem Wasser in innige Berührung gebracht, welches am Boden abläuft[1]).

Häufigere Verwendung hat in den letzten Jahren ein von Theisen eingeführter Gaswascher gefunden, in welchem dem Gegenstromgesetze gemäfs Gas und Wasser in entgegengesetzter Richtung sich bewegen. Die Skizze Abb. 167 läfst die Haupteigentümlichkeiten dieses Gaswaschers erkennen[2]). In dem schwach konisch geformten Mantel A, dessen Durchmesser bei den gröfsten Vorrichtungen dieser Art 3 m bei 5 m Länge beträgt, dreht sich die ringsum geschlossene Trommel B mit einer Umfangsgeschwindigkeit von 40 bis 50 m in der Sekunde. Sie dient zur Befestigung eiserner Flügel, welche nach einer Schraubenlinie angeordnet sind, bis nahe an den Mantel heranreichen und das bei C in den Mantel eintretende Gas zwingen, sich innerhalb des Raumes zwischen Mantel und Trommel in zahlreichen Windungen, also unter Zurücklegung eines verhältnismäfsig langen Weges, weiter zu bewegen, um schliefslich bei D zu entweichen. Das Wasser tritt durch mehrere an der Wand des Mantels befestigte (in der Skizze punktiert gezeichnete) Rohrstutzen ein, fliefst an der durch aufgelegtes Drahtgeflecht rauh gemachten Innenwand langsam abwärts und tritt bei E aus. Sowohl die entgegengesetzte Bewegung des Gases und des Wassers als die Wirkung der bei der raschen Umdrehung der Flügel in dem Gase erzeugten Zentrifugalkraft befördern die innige Berührung beider Körper. In einem Wascher von 3 m Durchmesser können stündlich etwa 50000 cbm

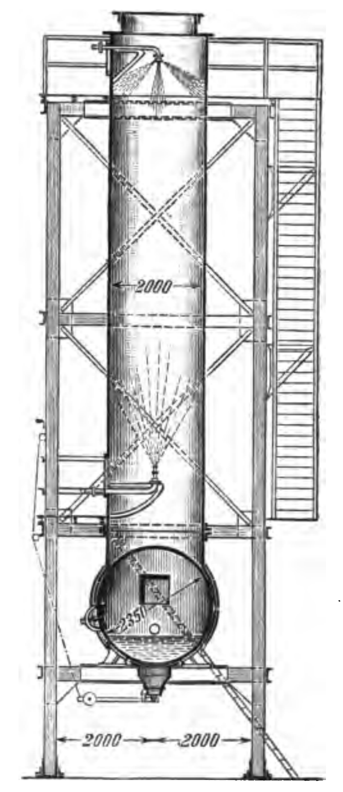


Abb. 166.

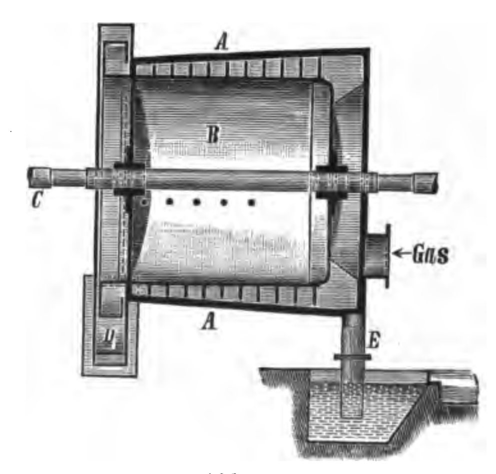


Abb. 167.

[1]) Abbildung einer solchen Vorrichtung: „Stahl und Eisen" 1901, S. 448.
[2]) Nach „Stahl und Eisen" 1904 S. 286.

Gichtgas gereinigt werden; der Wasserverbrauch hierfür beträgt für 1 cbm Gas 1 bis 1,5 l, der Arbeitsverbrauch für je 1000 cbm des stündlich zu reinigenden Gases 3 bis 5 Pfdst. je nach dem Grade der Reinheit, welche das Gas erhalten soll. Der Staubgehalt des gereinigten Gases beträgt gewöhnlich 0,01 bis 0,03 g in 1 cbm, läfst sich aber auch durch Einschaltung mehrerer Wäscher bis auf ein noch geringeres Mafs abmindern. Gase mit 150 ° C. Anfangstemperatur werden in dem Wascher auf 30 bis 50 ° C. abgekühlt.

Hinsichtlich der Einrichtung sonstiger mechanischer Gaswäscher möge auf die unten gegebene Literatur verwiesen werden. Ob es zweckmäfsig sei, für die Gasreinigung sich auf die Anwendung solcher mechanischen Vorrichtungen zu beschränken oder zuvor Trockenreiniger einzuschalten, mufs von den besonderen Verhältnissen des Hochofenwerks abhängen. Meistens zieht man das letztere Verfahren vor, zumal wenn der Hochofen reichliche Mengen grobkörnigeren Staubes liefert.

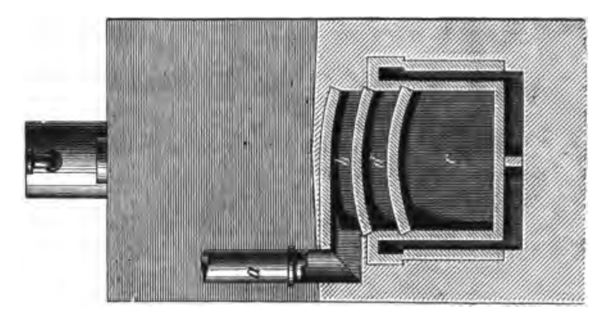
Die Verbrennungsvorrichtungen und die Esse.

Das Hochofen-Gichtgas ist schwieriger entzündlich und verbrennbar als die meisten sonstigen Brenngase, auch als Luftgas von guter Zusammensetzung, da sein Gehalt an verdünnend wirkenden, nicht brennbaren Bestandteilen, insbesondere an Stickstoff und Kohlendioxyd, etwas höher ist. Deshalb verdienen alle jene auf Seite 52 I entwickelten Regeln für Verbrennung von Gasen hier besondere Beachtung. Fehlerhaft würde es z. B. sein, die Vereinigung des Gases mit der Luft in einem Raume stattfinden zu lassen, in welchem das Gemisch der Berührung mit verhältnismäfsig kalt bleibenden Gegenständen (Dampfkesseln, eisernen Windheizröhren) preisgegeben ist. Soll das Gas zur Erhitzung derartiger Teile benutzt werden, so ist es erforderlich, vor dem eigentlichen Heizraume eine aus feuerfesten Ziegeln gebaute Verbrennungskammer einzuschalten, deren Wände alsbald stark erhitzt werden; aus dieser Kammer strömen erst die bereits verbrannten Gase in den Heizraum. Wenn diese Kammer eine ausreichend grofse Oberfläche darbietet, dient sie zugleich als Wärmespeicher zum Ausgleiche eintretender Schwankungen in der Menge der entwickelten Wärme, und wenn der Gasstrom auf einige Zeit unterbrochen gewesen sein sollte (z. B. beim Aufgichten), entzündet sich das frisch zutretende Gas sofort wieder an den glühenden Wänden der Verbrennungskammer, und die Gefahr der Entstehung von Knallgas durch Vermischung unverbrannten Gases mit der Luft wird vermieden.

Vorwärmung der Verbrennungsluft ist, wie bei allen Gasfeuerungen, zweckmäfsig zur Erzielung einer vollständigen Verbrennung mit tunlichst geringem Luftüberschufs. Der Zweck läfst sich erreichen, wenn man die Luft in Kanälen um die Verbrennungskammer herumführt, bevor sie in diese eintritt.

Eine nach diesen Grundsätzen von Lürmann gebaute und auf zahlreichen Hochofenwerken zur Anwendung gebrachte Verbrennungskammer für Dampfkesselfeuerungen ist in Abb. 168 und

169 dargestellt. Das Gas tritt durch das Rohr *a* in den Raum *b* und von hier durch mehrere Schlitze in die Verbrennungskammer *c*.


Abb. 169.

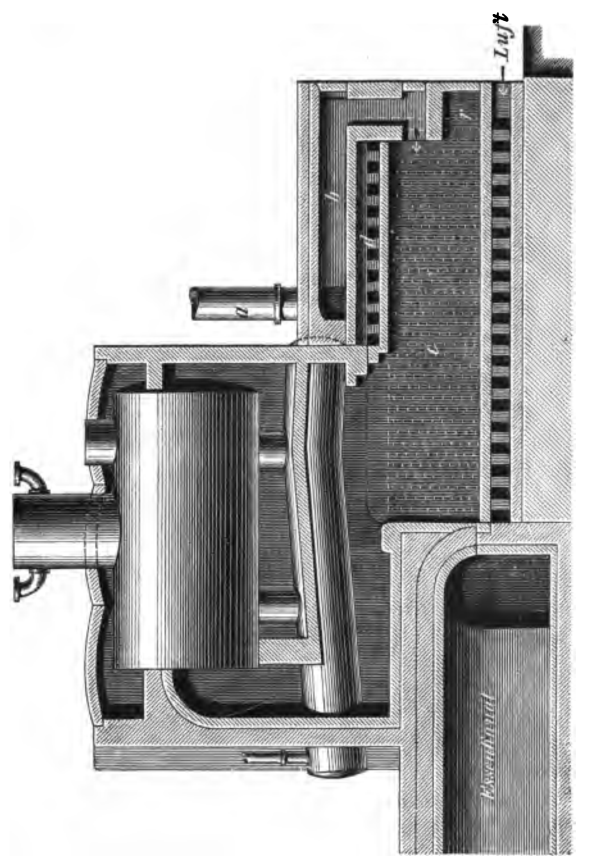


Abb. 168.

Die Luft strömt von aufsen unter den Boden der Verbrennungskammer, verteilt sich in eine Anzahl aufsteigender (in Abb. 168 in Punkten gezeichneter, in Abb. 169 im Schnitte sichtbarer) Kanäle,

gelangt in den Raum *d* auf dem Scheitel der Kammer und wird von hier aus durch Schlitze, welche neben den Gasschlitzen, mit diesen abwechselnd, angebracht sind, in den Verbrennungsraum geführt. *r* ist eine Reinigungsöffnung[1]). Hat die Kammer kalt gelegen, so wird in die Verbrennungskammer ein Rost eingelegt und auf diesem ein Feuer zur Entzündung des Gases unterhalten. Eine ständige Rostfeuerung neben der Gasfeuerung findet man in solchen Verbrennungskammern, deren Einrichtung nicht mit Sicherheit eine sofortige Wiederentzündung des unterbrochen gewesenen und frisch zutretenden Gasstroms erwarten läfst.

Die Verbrennungsluft wird, wie bei fast allen Gasfeuerungen, durch eine Esse angesaugt, welche zugleich die Bewegung der Gase in den Leitungen erleichtert. Zwar würden bei einem Hochofen mit Gichtverschlufs die Gase durch den unten einströmenden Wind ohnehin gezwungen werden, auch ohne jene Essenwirkung in den Leitungen sich weiter zu bewegen; aber ihre Spannung würde mit den Widerständen wachsen, welche sie in den Leitungen finden, und dieser höheren Gasspannung müfste eine gesteigerte Leistung der Gebläsemaschine entsprechen. Durch die saugende Wirkung der Esse wird jene Gasspannung in der Leitung verringert; ja es würde in manchen Fällen nicht schwierig sein, die Essenwirkung in so kräftiger Weise zur Geltung zu bringen, dafs statt des Überdrucks in den Leitungen Unterdruck herrschte und die Gasspannung im Hochofen geringer ausfiele, als wenn man die Gase in die freie Luft entweichen liefse. Eine solche Mafsnahme würde jedoch fehlerhaft sein. Die Erfahrung lehrt, dafs der Hochofengang durch Entstehung von Oberfeuer, d. h. durch Aufsteigen der Schmelztemperatur in den zur Reduktion bestimmten Teil des Hochofens, leidet, wenn die Gasspannung im Hochofen allzu stark verringert wird; schlimmer noch ist die Entstehung von Explosionen in der Leitung durch Eintreten äufserer Luft in die Leitung, wenn der Atmosphärendruck gröfser ist als der Gasdruck. Es entsteht Knallgas, und irgendeine Zufälligkeit kann die Entzündung herbeiführen.

Es ist deshalb notwendig, durch Benutzung der vor jeder Ausflufsöffnung des Gases anzubringenden Stellvorrichtung (Schieber, Drosselklappe) die Bewegung der Gase so zu regeln, dafs an jeder Stelle der Leitung bis zum Austritte der Gase in den Heizraum ein, wenn auch nur geringer, Überdruck vorhanden ist. Durch Anbringung eines Manometers in der Nähe der Ausflufsöffnung kann man sich leicht von der Erfüllung dieser Bedingung überzeugen. Im übrigen ist bei den neueren Hochofenanlagen mit umfänglichen Vorrichtungen für die Entfernung des Gichtstaubes kaum zu fürchten, dafs die Saugwirkung der Esse die Gasspannung im Hochofen oder auch in den dem Hochofen naheliegenden Teilen der Leitung allzusehr verringere. Die langen Leitungen erhöhen

---

[1]) Über Lürmanns Vorfeuer (Verbrennungskammer) vergleiche auch „Stahl und Eisen“ 1895, S. 124. Sonstige dem gleichen Zwecke dienende Einrichtungen „Stahl und Eisen“ 1897, S. 706 (Graus Feuerung); 1898, S. 660 Hartmanns Feuerung).

im Gegenteile mitunter die Gasspannung in einem Maſse, daſs eine Abminderung wünschenswert ist. Die beschriebenen mechanischen Vorrichtungen (Ventilator, Theisen-Reiniger) können auch zur Regelung der Gasspannung beitragen.

Die Abmessungen der Essen am Ausgange jeder Heizvorrichtung müssen der Menge der entstehenden Verbrennungsgase und den Widerständen entsprechen, welche sowohl die Verbrennungsgase als die noch unverbrannten Gase auf ihrem Wege finden. Während bei Benutzung der Gase zur Heizung einfacher, turmartig aufgebauter eiserner Winderhitzer und bei kurzen Leitungen zwischen dem Hochofen und der Verbrennungsstelle mitunter kaum eine besondere Esse erforderlich ist, da der schachtartige Heizraum selbst als Esse wirkt, hat man in anderen Fällen, wo die Gase einen langen Weg mit zahlreichen Krümmungen zurückzulegen haben, Essen von mehr als 80 m Höhe und 3 bis 4 m Durchmesser in Anwendung gebracht[1]). Eine zu geringe Essenwirkung kann die Benutzungsfähigkeit einer ganzen Heizanlage in Frage stellen; eine allzu kräftige Wirkung läſst sich durch Handhabung der Stellvorrichtungen für den Zutritt des Gases und der Luft abschwächen.

Literatur.

a) Einzelne Werke.

H. Wedding, Ausführliches Handbuch der Eisenhüttenkunde, 2. Aufl., 3. Band. Braunschweig 1904.

E. F. Dürre, Die Hochofenbetriebe am Ende des 19. Jahrhunderts. Berlin 1901.

J. Deschamps, Grands moteurs à gaz et l'utilisation des gaz de haut-fourneau. Paris 1901.

b) Abhandlungen.

F. W. Lürmann, Welche Form verhindert am wenigsten den regelmäſsigen Niedergang der Beschickung? „Stahl und Eisen“ 1887, S. 164.

A. Ledebur, Über die Entwicklung der inneren Form der Eisenhochöfen. „Stahl und Eisen“ 1887, S. 310.

B. Samuelson, Notes on the construction and cost of blast-furnaces in the Cleveland district in 1887. The Journal of the Iron and Steel Institute 1887, I, S. 91; auch „Stahl und Eisen“ 1887, S. 835.

Hochofen der Elizawerke in Pittsburg. „Stahl und Eisen“ 1890, S. 700; 1902 S. 70.

J. Gayley, Die Entwicklung des amerikanischen Hochofenbetriebs. „Stahl und Eisen“ 1890, S. 1004.

Neue Hochofenanlage in Buffalo. „Stahl und Eisen“ 1893, S. 552.

W. Hawdon, On the capacity and form of blast-furnaces. The Journal of the Iron and Steel Institute 1894 I, S. 78; daraus in „Stahl und Eisen“ 1894, S. 577.

Th. Jung, Die Roheisenindustrie an der Saar und Mosel. „Stahl und Eisen“ 1895, S. 617, 656.

C. Sjögren, Die neue Hochofenanlage zu Kladno. Aus Jernkontorets Annaler in „Stahl und Eisen“ 1895, S. 859.

F. W. Lürmann, Ein Jahrhundert deutschen Kokshochofenbetriebes. „Stahl und Eisen“ 1896, S. 802.

---

[1]) Beispiele: „Stahl und Eisen“ 1896, S. 626; 1898, S. 660.

O. Simmersbach, Die Entwicklung der Roheisenindustrie Grofsbritanniens. „Stahl und Eisen“ 1897, S. 264, 309.
O. Simmersbach, Die Anthracithochöfen in Süd-Wales. „Stahl und Eisen“ 1897, S. 1057.
Hochofenanlage zu Creusot. Engineering Band 65 (1898), S. 138.
Die neue Hochofenanlage zu Duquesne, „Stahl und Eisen“ 1897, S. 289, 356; auch Engineering vom 9. April 1897, S. 470.
Das Eisenwerk „Kraft“. „Stahl und Eisen“ 1897, S. 705.
F. W. Lürmann, Amerikanische Neuerungen an Hochöfen. „Stahl und Eisen“ 1897, S. 1060.
F. W. Lürmann, Neueste amerikanische Hochofenanlagen. „Stahl und Eisen“ 1898, S. 853.
Die Youngstown-Hochöfen der National Steel Company. Aus The Iron Age vom 21. Dez. 1899 in „Stahl unp Eisen“ 1900, S. 141; auch Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1900, S. 184.
F. Burgers, Über eine neue Hochofenkonstruktion. „Stahl und Eisen“ 1900, S. 675.
Burgers Eisenpanzerofen. „Stahl und Eisen“ 1904, S. 401.
A. C. Johnston, Die neue Hochofenanlage der Lorain Steel Co. Aus dem Journal of the Association of Engineering Societies vom 1. Januar 1901 in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1901, S. 555.
A. Brezgunow, Hochofen zu Mariupolsk. Aus Gorni Journal in „Stahl und Eisen“ 1901, S. 914.
The Eliza Furnace Plant. Iron Age vom 31. Oktober 1901, S. 1.
Poech, Der gröfste Holzkohlenhochofen der Welt. „Stahl und Eisen“ 1902, S. 490.
A modern French blast-furnace. Iron Age vom 6. November 1902, S. 18.
Fr. Fröhlich, Hochöfen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1903, S. 658, 612.
R. Kunz, Amerikanische Hochöfen mit hoher Erzeugung. „Stahl und Eisen“ 1904, S. 624.
J. Nebelung, Hochofenanlage auf der Insel Elba. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1903, S. 1559, 1625.
G. Martin, Die Hochofenanlage von Portovecchio. „Stahl und Eisen“ 1902, S. 67.
B. Osann, Das Hochofenwerk der Gutehoffnungshütte. „Stahl und Eisen“ 1904 S. 439.
B. Osann, Amerikanische Ofenkonstruktion unter besonderer Berücksichtigung ihres Mauerwerks. „Stahl und Eisen“ 1905 S. 523.
van Vloten, Die technischen Fortschritte des deutschen Hochofenbetriebes. „Stahl und Eisen“ 1895, S. 116.
Limbor, Über die Einwirkung der Hochofengase und der Alkalien auf das Zustellungsmaterial der Hochöfen. Wochenschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1878, S. 259.
F. W. Lürmann, Über das feuerfeste Mauerwerk der Hochöfen und dessen Erhaltung. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 265.
Th. Ludwig, Einwirkung von Hochofengasen auf das Schachtmauerwerk. „Stahl und Eisen“ 1905, S. 870.
J. Gayley, Die Erhaltung der Wände von Gestell und Rast der Hochöfen. Aus den Transactions of the American Institute of Mining Engineers in „Stahl und Eisen“ 1892, S. 424.
Ch. Cochrane, Über die Stellung der Formen bei Hochöfen. „Stahl und Eisen“ 1882, S. 434, 555; Glasers Annalen, Bd. 11, S. 141.
J. M. Hartmann, Notes on tuyeres in the iron blast-furnaces. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 28, S. 666.
B. F. Fackenthal, Tuyeres in the iron blast-furnace. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 28, S. 673.
Th. Jung, Über Hochofengasfänge. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1884, S. 969.
A. Weinlig, Einflufs der Gasfänge auf die Betriebsergebnisse der Hochöfen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1885, S. 245.
O. Simmersbach, Über die Verminderung der Gasverluste durch Anwendung doppelter Gichtverschlüsse. „Stahl und Eisen“ 1898, S. 890.

W. Kennedys Aufgebevorrichtung für Hochöfen. Aus Iron Age 1899 in „Stahl und Eisen“ 1899, S. 771; auch „Stahl und Eisen“ 1903, S. 677.
A. Schwarze, Elektrischer Antrieb für Gichtglocken. „Stahl und Eisen“ 1901, S. 515.
E. Münker, Pneumatischer Gichtglockenaufzug. „Stahl und Eisen“, 1901, S. 734.
F. Janssen, Elektrisch betriebene Gichtglockenaufzüge. „Stahl und Eisen“ 1901, S. 1353.
O. Simmersbach, Doppelte Gasfänge in Sulin. „Stahl und Eisen“ 1902, S. 613.
K. Stähler, Über doppelte Gichtverschlüsse. „Stahl und Eisen“ 1905, S. 200.
Reinigung der Gichtgase. „Stahl und Eisen“ 1883, S. 499.
Beitrag zur Frage der Gichtgasreinigung. „Stahl und Eisen“ 1883, S. 609.
H. Macco, Gasreinigung und Winderhitzung. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1888, S. 180.
Einrichtungen zur Entfernung des in den Hochofengasleitungen ausgeschiedenen Staubes. „Stahl und Eisen“ 1897, S. 55.
F. Simmersbach, Das Theisensche Verfahren zur Reinigung der Hüttengase. „Stahl und Eisen“ 1899, S. 57; 1900, S. 1037; vgl. auch 1902, S. 371.
Ed. Theisen, Die Gicht- und Generatorgasreinigung mit dem Theisenschen Verfahren. „Stahl und Eisen“ 1904, S. 285, 1013.
B. Osann, Beiträge zur Frage der Gichtgasreinigung. „Stahl und Eisen“ 1902, S. 153.
F. W. Lürmann, Einrichtungen zur Entfernung des in den Hochofengasleitungen ausgeschiedenen Staubes. „Stahl und Eisen“ 1896, S. 955.
F. W. Lürmann, Die Reinigung der Hochofengase. „Stahl und Eisen“ 1901, S. 619.
F. W. Lürmann, Verwendung der Hochofengase zur unmittelbaren Krafterzeugung. „Stahl und Eisen“ 1898, S. 247, 495.
F. W. Lürmann, Betriebsergebnisse der Hochofen-Gasmaschine in Seraing. „Stahl und Eisen“ 1898, S 806.
F. W. Lürmann, Weitere Fortschritte in der Verwendung von Hochofenkraftgas. „Stahl und Eisen“ 1899, S. 473; 1901, S. 433, 489.
Axel Sahlin, The cleaning of blast-furnace gas, The Journal of the Iron and Steel Institute 1905 I, S. 321; auszugsweise in „Stahl und Eisen“ 1905, S. 793.
Meyjes, Über den gegenwärtigen Stand der Gichtgasreinigung. „Stahl und Eisen“ 1906, S. 27.
E. Meyer, Die Verwendung der Hochofengichtgase zum Betriebe von Gasmotoren. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1899, S. 448, 483.
E. Meyer, Weitere Fortschritte in der Verwendung von Hochofenkraftgas. „Stahl und Eisen“ 1899, S. 517.
Münzel, Über die zunehmende Anwendung von grofsen Gasmotoren im modernen Kraftbetriebe. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1900, S. 401; „Stahl und Eisen“ 1900, S. 315, 382.
K. Iffland, Krafterzeugungskosten für ein grofses Hüttenwerk. „Stahl und Eisen“ 1904, S. 693.
O. Simmmersbach, Messung der Geschwindigkeit und des Volumens von Hochofen- und anderen Hüttengasen. Berg- und Hüttenmännische Rundschau Jahrgang II, S. 14.

Literatur über Benutzung von Gaskraftmaschinen zum Betriebe von Gebläsen ist im folgenden Abschnitt gegeben.

III. Die Erzeugung, Trocknung, Erhitzung und Fortleitung des Gebläsewindes.

1. Die Gebläse.

Allgemeines.

Während bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts einfache hölzerne Spitzbälge — in den Abb. 121 bis 123 eines alten Hochofens erkennbar — die üblichste Form der Hochofengebläse bildeten, werden zum Betriebe der Hochöfen der Jetztzeit ausnahmslos Zylindergebläse benutzt. Kein anderes Gebläse ist imstande, die für einen Hochofen erforderliche Windmenge und Windpressung unter gleich günstiger Ausnutzung der von der Betriebsmaschine geleisteten Arbeit wie ein gut eingerichtetes Zylindergebläse zu liefern, und die beträchtliche Leistungsfähigkeit der jetzigen Hochöfen würde nicht erreichbar gewesen sein, wenn nicht mit der Vergröfserung der Hochöfen auch eine Vergröfserung und Vervollkommnung der Zylindergebläse Hand in Hand gegangen wäre.

Der Erbauer des ersten Zylindergebläses war, soweit sich ermitteln läfst, der Engländer Smeaton, welcher 1768 auf der Carronhütte in Schottland ein solches durch Wasserkraft betriebenes Gebläse anlegte. 1775 wurde durch John Wilkinson das erste Zylindergebläse mit Dampfbetrieb zur Anwendung gebracht; 1778 wurde durch eine englische Firma das erste derartige Gebläse auf dem Festlande, zu Creusot in Frankreich, angelegt[1].

Die allgemeine Einrichtung eines Zylindergebläses darf als bekannt vorausgesetzt werden. Eine ausführlichere Besprechung gehört in das Gebiet der Maschinenlehre. An dieser Stelle kann nur die Aufgabe vorliegen, die Eigentümlichkeiten der für den Hochofenbetrieb benutzten Zylindergebläse hervorzuheben und die Vorteile und Nachteile der verschiedenen üblichsten Formen der Zylindergebläse bei ihrer Verwendung für den Hochofenbetrieb einander gegenüberzustellen.

Die Windspannung, mit welcher die jetzigen Hochöfen betrieben werden, beträgt abweichend nach der Höhe der Öfen, der Dichtigkeit der Beschickung und der Verbrennlichkeit des Brennstoffs, 0,1 bis 1,0 kg auf 1 qcm[2]), mitunter auch wohl noch etwas mehr, obschon während des regelmäfsigen Betriebes Windspannungen von mehr als 0,8 kg nicht gerade häufig und fast nur für Anthracithochöfen zur Anwendung gelangen. Die für grofse Hochöfen erforderliche Windmenge kann mehr als 1000 cbm in einer Minute betragen, während sie allerdings bei den wenigsten Hochöfen über 750 cbm hinausgeht.

Das Zylindergebläse mufs also imstande sein, diese Windmenge zu liefern und auf die angegebene Spannung zu verdichten. Es

---

[1]) Ludw. Beck, Die Geschichte des Eisens, Band 3, S. 562; Abbildung des Gebläses zu Creusot: ebenda S. 565.

[2]) 75 bis 750 mm Quecksilbersäule.

ist sogar zweckmäfsig, das Gebläse für eine noch etwas gröfsere Windspannung einzurichten, als voraussichtlich erforderlich sein wird, um im Notfalle, z. B. bei Entstehung von Versetzungen im Hochofen, damit arbeiten zu können. Neuere Gebläse für grofse Hochöfen sind befähigt, bis 2,0 kg Druck auf 1 qcm zu liefern. Da aber der Hochofen jahrein, jahraus ununterbrochen im Betriebe ist und jeder Stillstand, verursacht durch erforderliche Ausbesserungen am Gebläse, nicht allein einen Ausfall in der Roheisenerzeugung mit sich bringt, sondern auch störende Nachwirkungen auf den Verlauf des Schmelzganges ausübt, mufs das Zylindergebläse auch in solcher Weise gebaut sein, dafs jene Ausbesserungen auf ein möglichst geringes Mafs beschränkt bleiben.

Der Betrieb der Hochofengebläse geschah bis jetzt fast immer durch Dampfkraft, für deren Erzeugung die Gichtgase des Hochofens bei zweckmäfsiger Einrichtung der Gasentziehung, Feuerungsanlage wie der Dampfmaschine auch dann ausreichen können, wenn ein Teil der Gase zur Erhitzung des Gebläsewindes und zu anderen Zwecken benutzt wird. Die Dampfmaschinen werden mit starker Dampfspannung (gewöhnlich 5 bis 8 Atmosphären Überdruck) und Expansion betrieben; häufig kommen Verbundmaschinen in Anwendung. Arbeitet die Maschine mit Kondensation, so findet man nicht selten umfängliche Anlagen zur Abkühlung des benutzten Wassers, um dieses, ebenso wie das Kühlwasser für den Hochofen, wieder gebrauchsfähig zu machen. An Stelle der Dampfmaschinen aber haben seit dem Jahre 1900 Gaskraftmaschinen, durch die Gichtgase des Hochofens oder auch durch die Gase der Verkokungsöfen betrieben, eine rasch zunehmende Benutzung gefunden, nachdem man die Hauptschwierigkeit, welche sich ihrer Verwendung entgegensetzte, den Staubgehalt der Gase, durch die oben besprochene Vervollkommnung der Vorrichtungen zur Reinigung glücklich beseitigt hatte. Man benutzt zum Betriebe der Gebläse Zwei- und Viertakt-Gasmaschinen verschiedener Bauart[1]). Wasserkraft, welche bis gegen Ende des 18. Jahrhunderts ausnahmslos für den Betrieb der Hochofengebläse benutzt wurde, findet in wasserreichen Gegenden auch jetzt noch Anwendung; doch hat man nicht selten daneben auch eine Dampfmaschine zur Verfügung, um bei eintretendem Wassermangel gedeckt zu sein.

Man wendet ein- und mehrzylindrige (zwei- oder dreizylindrige) Gebläsemaschinen für den Hochofenbetrieb an. Einzylindrige sind bei derselben Leistung billiger in der Anlage, machen aber die Einschaltung eines Regulators in die Windleitung (siehe unten) erforderlich, um die Ungleichmäfsigkeiten des Windstromes auszugleichen, und erhalten bei grofsem Windbedarfe sehr erhebliche Durchmesser, was in mehr als einer Hinsicht unerwünscht ist. Bei mehrzylindrigen Gebläsen läfst sich durch entsprechende Kurbelstellungen Abminderung jener Ungleichmäfsigkeit des Wind-

---

[1]) Über den Unterschied von Zwei- und Viertakt-Maschinen vergl. „Stahl und Eisen" 1899, S. 518 und 523; über die abweichende Bauart der Maschinen im einzelnen die unter Literatur genannten Abhandlungen von E. Meyer, Münzel, Reinhardt, Strack.

stromes erzielen, und bei Benutzung von Dampf als Betriebskraft kann man mit Vorteil Verbundmaschinen benutzen. Daher findet man bei dem Betriebe durch Dampf- oder Wasserkraft einzylindrige Maschinen jetzt seltener als zweizylindrige, und vereinzelt kommen auch dreizylindrige zur Anwendung, während bei dem Betriebe durch Gaskraft in Rücksicht auf die Eigentümlichkeiten der Antriebsmaschinen die einzylindrigen Gebläse häufiger sind.

Alle durch Dampf oder Gas betriebenen Zylindergebläse sind mit Kurbelwelle und Schwungrad ausgestattet. Bei dem Betriebe durch ein Wasserrad läſst man dieses gewöhnlich die Stelle eines Schwungrades versehen.

Obwohl man durch einen raschen Gang des Zylindergebläses den Vorteil erreicht, daſs für eine verlangte Windmenge die Abmessungen des Zylinders und aller übrigen damit zusammenhängenden Teile geringer ausfallen, das Gebläse daher leichter und in der Anlage billiger wird, die Arbeitsverluste durch Reibung wegen des geringeren Gewichts der bewegten Teile ebenfalls sich entsprechend verringern und hierdurch eine günstigere Ausnutzung der geleisteten Arbeit erreicht wird, befolgte man doch bei Hochofengebläsen bis vor nicht langer Zeit den Grundsatz, die Kolbengeschwindigkeit nicht erheblich über 1 m in der Sekunde zu steigern, um Beschädigungen nach Möglichkeit zu vermeiden. Manche der in Benutzung stehenden Hochofengebläse arbeiten mit noch geringerer Geschwindigkeit. In den letzten Jahren hat man jedoch die Geschwindigkeit auch der Hochofengebläse erheblich gesteigert, nachdem man ihre Einrichtung, zumal die der Ventile, vervollkommnet und Gebläseformen gewählt hatte, welche widerstandsfähig gegen Erschütterungen sind. Die meisten Hochofengebläse werden mit 1,5 bis 2,3 m Geschwindigkeit in der Sekunde betrieben; vereinzelt hat man die Geschwindigkeit bis auf 4 m gesteigert.

Das Verhältnis der Hublänge zum Durchmesser beträgt bei den meisten Hochofengebläsen 0,7 bis 0,8 [1]).

Das Zylindergebläse nebst Dampf- oder Gasmaschine muſs in einem besonderen Gebäude aufgestellt werden, um gegen Staub und sonstige äuſsere Einflüsse nach Möglichkeit geschützt zu sein. In diesem Gebäude pflegt jedoch die Luft wegen des Entweichens von Wasserdampf aus den unvermeidlichen undichten Stellen der Dampfleitung oder, bei Gebläsen mit Wasserkraft, wegen der Nähe des Wassergrabens stark mit Feuchtigkeit gesättigt zu sein; der Hochofen erhält also, sofern die Gebläseluft unmittelbar von hier entnommen wird, zugleich Wasserdampf, durch dessen Zersetzung im Verbrennungsraume Wärme verbraucht wird. Groſse Gebläse aber erzeugen innerhalb eines geschlossenen Gebläsehauses einen luftverdünnten Raum, wodurch die Leistung des Gebläses beeinträchtigt und starke Zugluft, begleitet von Staubentwicklung

---

[1]) Geringe Hublängen bedingen häufige Hubwechsel, und jeder Hubwechsel schmälert die Leistung des Gebläses, indem er den schädlichen Raum zur Geltung kommen läſst und kleine Ungenauigkeiten in der Arbeit der Ventile oder sonstigen Absperrvorrichtungen im Gefolge hat; groſse Hublängen machen das Gebläse schwerfälliger und in der Anlage kostspieliger.

en
m
en
n)
zu
es

m

ch
ch
e-
r)
ne
er
s-
e,
e.
e-
it
er
en
n-
er
r-
d
ie

0)
se
s-
e-
rs
rs
o
n
h
d
it
e
r
ft

u
n

l

str
kar
bei
Ma
auc
du
ma

mi
du
Sc

de
Al
hä
in
we
en
de
of
ge
st
M
m
m
h
V
w
o
S
a

d

e
u
I
v
I
d
I
e
i
a
l
e

s
l
a
(

und einer Erschütterung der Türen und Fenster, hervorgerufen werden kann. Zweckmäfsig ist es daher, die Luft nicht aus dem Gebläsehause entnehmen zu lassen, sondern die Saugöffnungen durch einen weiten gemauerten Kanal (bei liegenden Gebläsen) oder ein weites Rohr mit der äufseren Luft in Verbindung zu setzen, so dafs die Luft des Gebläsehauses durch den Gang des Gebläses unbeeinflufst bleibt.

Werden mehrere Hochöfen betrieben, so gibt man gern einem jeden seine eigene Gebläsemaschine und eigene Windleitung.

Die üblichsten Gebläseformen.

Liegende Gebläse. Sie werden für den Betrieb durch Dampfkraft fast ausnahmslos zweizylindrig, für den Betrieb durch Gaskraft dagegen, wie schon erwähnt, gewöhnlich einzylindrig gebaut. Sämtliche Zylinder (Gebläse- und Dampf- oder Gaszylinder) haben wagerechte Achse; die Kolbenstange der Antriebsmaschine ist mit der des zugehörigen Gebläsezylinders gekuppelt. Der Gebläsezylinder liegt an dem einen Ende, der Dampf- oder Gaszylinder in der Mitte, das durch Kurbel und Schubstange betriebene, für beide Zylinder gemeinschaftliche Schwungrad am anderen Ende. In Abb. 170 und 171 ist ein zweizylindriges, von der Gutehoffnungshütte in Oberhausen gebautes Gebläse mit Verbunddampfmaschine dargestellt. *a* ist der Hochdruck-, *b* der Niederdruckdampfzylinder; *cc* sind die Gebläsezylinder; zwischen den Dampfzylindern liegt der Receiver. Zwei kräftige Gufseisenrahmen tragen die zueinander gehörigen Zylinder und die Lager der Schwungradwelle. Die Luft strömt durch den in Abb. 170 erkennbaren unterirdischen Kanal *d* von aufsenher zu, der Wind wird durch das oberhalb der Zylinder angeschlossene Rohr in die gemeinschaftliche Leitung geführt.

Denkt man sich im Aufrifs der abgebildeten Maschine (Abb. 170) an Stelle des Dampfzylinders einen Gasmotor und das Gebläse einzylindrig, so erhält man die üblichste Anordnung der Gasmaschinengebläse. Auch hier liegt an der einen Seite der Gebläsezylinder, dessen Kolbenstange mit derjenigen des Gaszylinders verbunden ist; an der entgegengesetzten Seite des Gaszylinders befindet sich das Schwungrad, welches von dem Kolben aus ebenso wie das Schwungrad des abgebildeten Dampfgebläses angetrieben wird. Unterschiede der Bauart im einzelnen sind bedingt durch die Wahl der Gasmaschine. Man benutzt, wie erwähnt, Zwei- und Viertaktmaschinen; in beiden Fällen Maschinen mit einem oder mit mehreren Zylindern (Zwillingsmaschinen, Tandemmaschinen). Eine nähere Erläuterung dieser Unterschiede fällt in das Gebiet der Maschinenkunde; Abhandlungen, in welchen ebenfalls Auskunft darüber gegeben ist, sind unter Literatur genannt[1]).

Die liegenden Gebläse besitzen den Vorzug, dafs sie leicht zu übersehen, leicht zugänglich und deshalb in der Wartung bequem

---

[1]) Abbildungen liegender, durch Gasmaschinen betriebener Gebläse: „Stahl und Eisen“ 1901, S. 491, 496, 500; 1902, S. 900, 1067, Tafel XIX; 1905, S. 69.

sind. Der ihnen früher häufig gemachte Vorwurf, dafs durch das Gewicht der Kolben eine einseitige Abnutzung der Zylinderwände herbeigeführt werde, verliert an Bedeutung, wenn der Hub nicht allzu beträchtlich genommen wird (selten über 1,7 m bei etwa 2,25 m Durchmesser der Windzylinder), die Kolbenstangen der Windzylinder bei grofsem Durchmesser hohl gefertigt und an beiden Seiten der Windzylinder durch besondere Führungen gestützt werden. In Abb. 170 sind bei *ee* die für diesen Zweck bestimmten Schlittenführungen sichtbar. Der erwähnten Vorzüge halber gehören die liegenden Gebläse in der Jetztzeit zu den am häufigsten benutzten Gebläseformen; auf deutschen Hochofenwerken sind sie zahlreicher als alle übrigen Gebläse zusammen, und für den Betrieb durch Gaskraft sind überhaupt nur liegende Gebläse in Anwendung. Den Ausschlag gegen ihre Wahl kann ein Mangel an Platz geben, da für die Aufstellung eine ziemlich bedeutende Grundfläche erforderlich ist.

Schwinghebelgebläse. Sie gehören zu den ältesten aller Zylindergebläse und sind ihrer Standfestigkeit und Dauerhaftigkeit halber, welche Eigenschaften im Vereine mit der senkrechten Stellung der Zylinder zugleich die Anwendung grofser Hublängen ermöglichen, auch jetzt noch bisweilen, wenn auch selten, in Anwendung. Denn unter allen Zylindergebläsen ist das Schwinghebelgebläse das kostspieligste in seiner Anlage; aufser den eigentlichen Anschaffungskosten erfordert es einen kostspieligen Unterbau, eine Grundfläche von annähernd gleicher Gröfse wie die liegenden Gebläse, aber ein Gebläsehaus von beträchtlicherer Höhe, und die Beaufsichtigung und Wartung der Maschine ist weniger einfach als die der liegenden Maschinen.

Abb. 172 zeigt in 1/175 der wirklichen Gröfse die Anordnung eines einzylindrigen Schwinghebelgebläses mit Kurbel und Schwungrad [1]). Rechts steht der Dampfzylinder, links der Gebläsezylinder, durch Vermittlung des auf eisernen Säulen gelagerten Schwinghebels von jenem aus angetrieben. An den Enden der Kolbenstangen sind die Parallelogramme erkennbar, dazu bestimmt, die Geradführung der Kolbenstangen bei der schwingenden Bewegung der Angriffspunkte am Schwinghebel zu sichern [2]).

Statt der Maschine mit einem Dampfzylinder kommt nicht selten eine Woolfsche Dampfmaschine in Anwendung.

Mehrzylindrige Maschinen sind seltener als einzylindrige, da man dem stehenden Gebläsezylinder ohne Nachteil einen gröfseren Durchmesser als dem Zylinder der liegenden Gebläse geben kann. Für jedes Zylinderpaar (Dampf- und Gebläsezylinder) ist bei den mehrzylindrigen Gebläsen ein besonderer Schwinghebel erforderlich, und die Schubstangen treiben die gemeinschaftliche Kurbelwelle, deren Kurbeln unter entsprechendem Winkel (bei zwei Zylindern unter 90°) gegeneinander gestellt sind.

Die Schwungradwelle befindet sich entweder, wie in der

---

[1]) Aus J. Schlink, Über Gebläsemaschinen, Fig. 6.

[2]) Bei neueren Maschinen findet man statt der Parallelogramme häufiger Prismengeradführungen.

Abbildung, zwischen beiden Zylindern oder häufiger vor dem Dampfzylinder. Der Schwinghebel pflegt in diesem Falle mit einer hornartigen Verlängerung versehen zu sein, an welcher die Schubstange angreift[1]). Man gibt Schwinghebelgebläsen Zylinderdurchmesser bis zu 3,5 m (selten allerdings über 3 m) und Hubhöhen bis zu 3 m (Verhältnis der Hubhöhe zum Durchmesser $^5/_6$—$^6/_5$).

Stehende Gebläse mit doppelten Kurbelstangen oder Seraingsgebläse. Die Einrichtung dieser Gebläse, welche seit Anfang der fünziger Jahre des neunzehnten Jahrhunderts in besonders grofser Zahl von der Firma Société Anonyme John Cockerill in Seraing gebaut wurden und ihre gröfste Ver-

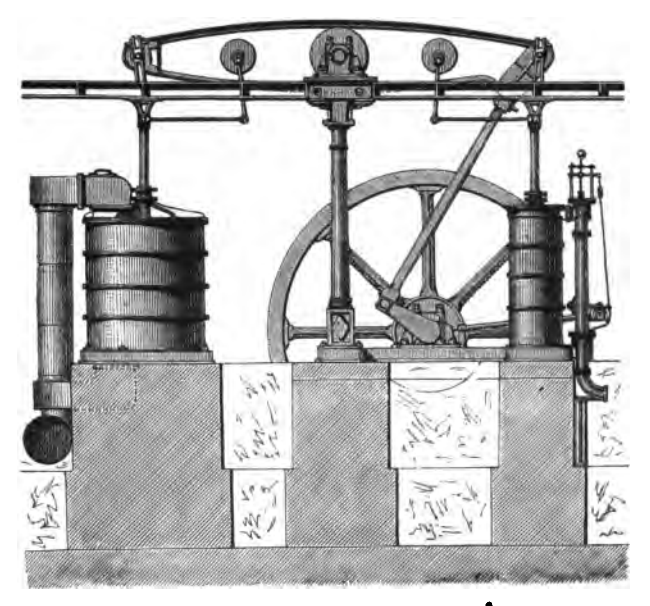


Abb. 172.

breitung gegen Ende der sechziger Jahre und im Anfang der siebziger Jahre fanden, ist durch die Abb. 173 a. f. S. dargestellt.

Auf einem von Säulen oder Ständern getragenen Rahmen ist der Gebläsezylinder befestigt, dessen abwärts gerichtete Kolbenstange mit der Kolbenstange des unten befindlichen Dampfzylinders gekuppelt ist. Von den Kolbenstangen wird ein in senkrechten Führungen gleitendes Querhaupt bewegt; dient eine Woolfsche Dampfmaschine für den Antrieb, was ziemlich häufig der Fall ist, so tragen deren beide parallele Kolbenstangen das Querhaupt, an welches die Kolbenstange des Windzylinders angeschlossen ist. Das Querhaupt endigt an beiden Seiten in Zapfen, an welchen zwei Kurbelstangen angreifen. Mit dem anderen Ende sind

[1]) Beispiele dieser Einrichtung und die Gründe für ihre Anwendung: J. Schlink im genannten Werke, S. 7; A. von Ihering, Die Gebläse, S. 25.

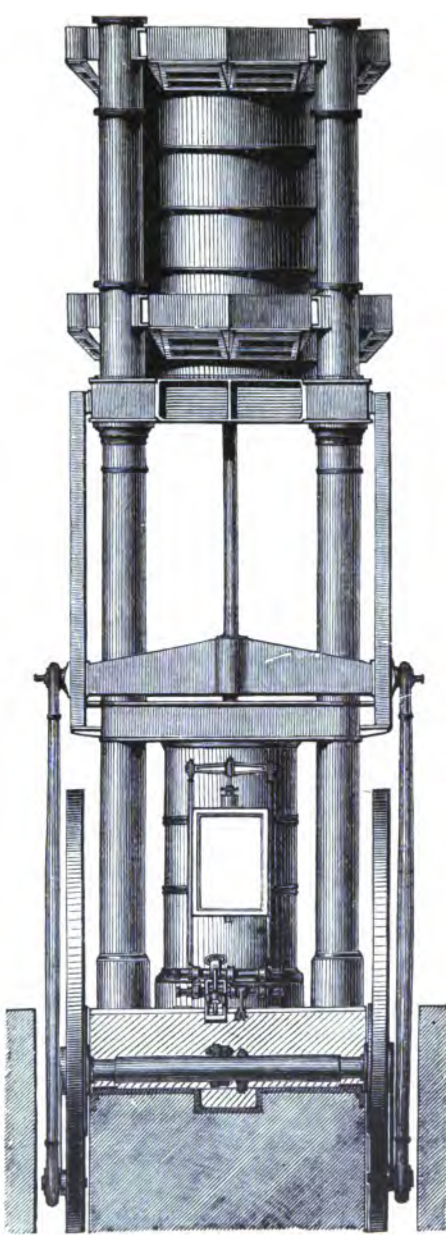


Abb. 173.

die letzteren an die zwei Schwungräder angeschlossen, welche zwischen Kurbelstange und Dampfzylinder angeordnet sind, und deren Welle unterhalb des Dampfzylinders im Grundgemäuer gelagert ist.

Der Umstand, dafs zwischen Dampf- und Gebläsezylinder dieser Gebläse ein ausreichender Raum für die Bewegung des Querhauptes bleiben mufs, bedingt eine beträchtliche Höhe des Gebläses, und mit dieser Höhe wächst. ebensowohl die Höhe des erforderlichen Gebäudes als auch die Schwierigkeit der Beaufsichtigung. Die ganze Anordnung eignet sich vorzugsweise für einzylindrige Gebläse; mehrzylindrige bilden Ausnahmen[1]). Bei allen stehenden einzylindrigen Gebläsen ohne Schwinghebel aber findet, da beim Aufgange der Kolben die sämtlichen bewegten Teile gehoben werden müssen, beim Niedergange durch ihr Gewicht Arbeit verrichten, eine ungleichmäfsige Ausnutzung der von der Antriebsmaschine geleisteten Arbeit statt. Bei mehrzylindrigen Gebläsen kann man durch entsprechende Stellung der Kurbeln gegeneinander Ausgleich schaffen; bei den einzylindrigen Seraingmaschinen (deren bewegte Teile mitunter ein Gewicht von mehr als 8 t besitzen) benutzt man für denselben Zweck gewöhnlich Gegengewichte, welche am Kranze der Schwungräder,

[1]) Beispiel eines zweizylindrigen Gebläses, dessen Zylinder nach Art der Seraingebläse angeordnet sind: Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1891, S. 457; „Stahl und Eisen“ 1891, Tafel 12; auch A. von Ihering, Die Gebläse, Tafel 1.

befestigt werden; mitunter auch sucht man durch Anwendung eines Differenzialkolbens der Dampfmaschine den Übelstand abzuschwächen, d. h. durch Anwendung einer dickeren Kolbenstange, welche den freien Zylinderquerschnitt oberhalb des Kolbens entsprechend verringert.

Diesen Schwächen der Serainggebläse stehen als Vorzüge gegenüber: die unmittelbare Kraftübertragung, wodurch alle Zwischenteile entbehrlich werden; die Möglichkeit, grofse Kolbenhübe und, wenn erforderlich, grofse Zylinderdurchmesser anzuwenden; die geringe Gröfse der erforderlichen Grundfläche. Immerhin traten die Schwächen um so stärker hervor, je mehr man bei zunehmender Gröfse der Hochöfen die Ansprüche an die zu liefernde Windmenge und Windspannung steigerte, und aus diesem Grunde werden Gebläse dieser Art kaum noch irgendwo gebaut. Auch die genannte Firma, welche sie zuerst ins Leben rief, ist inzwischen zu anderen Gebläseformen übergegangen. Aus früheren Jahrzehnten überkommene Serainggebläse aber findet man auch heute noch auf den Eisenwerken nicht selten. Man baute sie in Gröfsen bis zu 3 m Gebläsezylinderdurchmesser; die Hubhöhe der meisten gröfseren Maschinen beträgt 2,5—2,8 m.



Abb. 174.

S t e h e n d e G e b l ä s e m i t e i n e r K u r b e l s t a n g e o d e r C l e v e l a n d - G e b l ä s e. Dampf- und Gebläsezylinder stehen unmittelbar übereinander und werden, wie der Windzylinder der Serainggebläse, auf hohem Gerüst von Säulen oder Ständern getragen. Bei einzelnen dieser Gebläse befindet sich der Dampfzylinder zu oberst und der Gebläsezylinder darunter; bei der Mehrzahl bildet der Gebläsezylinder den höchsten Teil der Maschine. Die erstere Anordnung hat zwar den Vorteil eines gefälligeren Äufseren, ist aber insofern ungünstig, als das aus der Stopfbuchse des Dampfzylinders herabtröpfelnde verdichtete Wasser sich auf dem Deckel des Gebläsezylinders ansammelt.

Die Kolbenstange des unteren der beiden Zylinder endigt unten in einem zwischen senkrechten Führungen gleitenden Kreuzkopfe, an welchen die Kurbelstange angreift; die Kurbel- und Schwungradwelle befindet sich zu ebener Erde.

Man baut diese Gebläse ein-, zwei- oder auch dreizylindrig. Bei einzylindrigen Gebläsen (welche jedoch in der Jetztzeit ziemlich selten sind) läfst man die Kurbelstange in der Mitte der gekröpften Kurbel angreifen und bringt auf jeder Seite ein Schwungrad an. Die Abb. 174 zeigt eine solche Anordnung. Der Windzylinder des abgebildeten Gebläses ist mit weitem Blechmantel umhüllt, der durch ein Rohr mit der Luft aufserhalb des Gebläse-

hauses in Verbindung steht. Ist das Gebläse zweizylindrig, so bringt man die Kurbeln an den Enden der Schwungradwelle an und nur ein Schwungrad in der Mitte zwischen beiden Kurbeln. Stellt man hierbei die Kurbeln unter 90 Grad gegeneinander, wie bei liegenden Gebläsen, so findet zwar Ausgleich der Ungleichmäfsigkeiten statt, nicht aber völliger Ausgleich der durch das Gewicht der bewegten Teile verursachten Ungleichmäfsigkeiten in der Ausnutzung der von der Dampfmaschine geleisteten Arbeit; stellt man dagegen die Kurbeln um einen Winkel von 180 Grad gegeneinander,

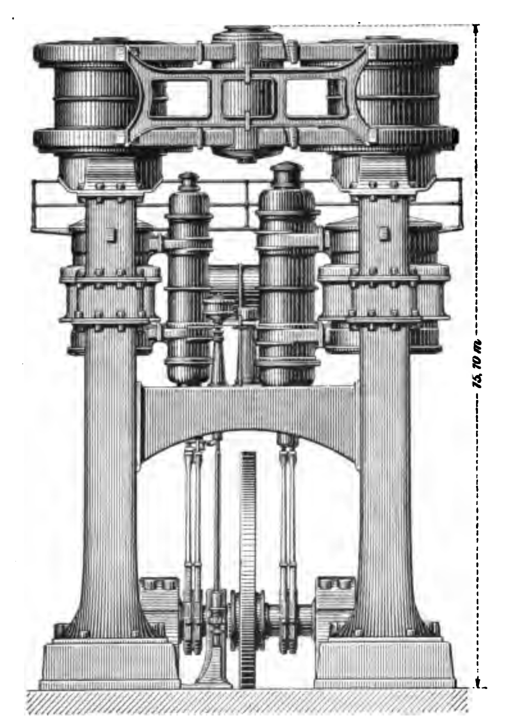


Abb. 175.

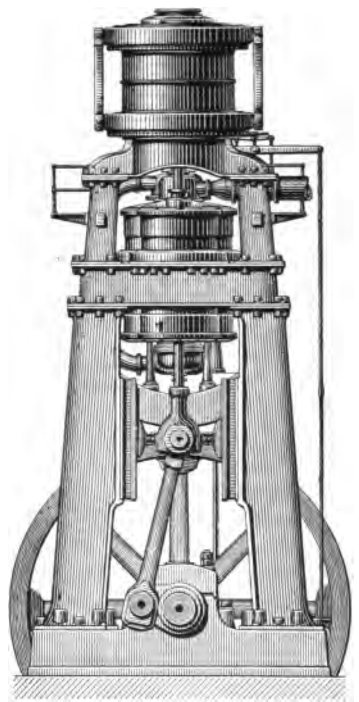


Abb. 176.

so gleichen sich die Gewichte der bewegten Teile gegenseitig aus, aber für die Erzielung eines gleichmäfsigen Windstromes ist die Anwendung eines Regulators erforderlich.

Bei Drillingsgebläsen werden die Kurbeln um 120 Grad gegeneinander verstellt, wodurch ebensowohl Gewichtsausgleichung als Ausgleichung der Ungleichmäfsigkeiten des Windstromes erreicht wird.

Ein von der Kölnischen Maschinenbau-Aktiengesellschaft zu Bayenthal bei Köln gebautes, raschlaufendes zweizylindriges Clevelandgebläse mit Verbunddampfmaschine ist in Abb. 175 und 176 dargestellt. Die Windzylinder befinden sich oben, die Dampfzylinder darunter. Der Dampfzylinder links (Abb. 175)

ist der Hochdruckzylinder, der Dampfzylinder rechts der Niederdruckzylinder. Zwischen den Windzylindern ist der Windsammler, zwischen den Dampfzylindern der Receiver angebracht. Die Windzylinder der abgebildeten Maschine haben 2,4 m Durchmesser, der Hochdruckzylinder 1,6 m, der Niederdruckzylinder 2,35 m. Der Hub beträgt 1,8 m, die Anzahl der Umgänge in der Minute 60, also die Kolbengeschwindigkeit 3,6 m in der Sekunde.

Zweizylindrige Clevelandgebläse, welche seit den sechziger Jahren des neunzehnten Jahrhunderts in Aufnahme gekommen sind, sind in den Fällen, wo der Antrieb durch Dampfkraft geschieht, neben den liegenden Gebläsen in der Jetztzeit beim Hochofenbetriebe am häufigsten in Benutzung. Einen gewissen Nachteil bildet der Umstand, dafs bei gegebener Hublänge die Gesamthöhe des Clevelandgebläses noch beträchtlicher ausfällt als die der Seraing-gebläse. Die Ursache hierfür ist bei einem Vergleiche der beiden verschiedenen Anordnungen erkennbar: bei den Serainggebläsen befinden sich die Kurbelstangen, deren Länge immerhin in einem bestimmten Verhältnisse zu der Hublänge stehen mufs, neben dem Dampfzylinder; bei den Clevelandgebläsen mufs unterhalb der Führungen für den Kreuzkopf noch eine der Länge der Kurbelstange entsprechende Höhenabmessung zugegeben werden.

Man gibt deshalb diesen Clevelandgebläsen geringere Hubhöhen, damit die Gesamthöhe des Gebläses nicht allzu beträchtlich ausfalle, selten über 1,8 m; der Durchmesser der Windzylinder beträgt 2,0 bis 2,5 m, vereinzelt bis zu 3 m.

2. Die Regulatoren.

In vorstehendem wurde erwähnt, dafs bei Anwendung einzylindriger Gebläse eine besondere Ausgleichvorrichtung, ein Regulator, in die Windleitung eingeschaltet werden müsse zu dem Zwecke, die Unregelmäfsigkeiten des Windstromes abzuschwächen oder zu beseitigen, welche durch den steten Wechsel in der Bewegung des Gebläsekolbens hervorgerufen werden. Unter den verschiedenen in früherer Zeit für diesen Zweck angewendeten Einrichtungen findet bei jetzigen Hochofenanlagen nur eine einzige Verwendung: ein geräumiger Behälter, durch welchen der Gebläsewind hindurchströmt, und welcher demnach ununterbrochen mit geprefster Luft gefüllt ist. Die Wirkung dieser eingeschlossenen Luft ist der einer Feder oder eines Schwungrades ähnlich; beim Zuströmen einer grofsen Windmenge wird sie stärker gespannt, und wenn der Zuflufs nachläfst, schafft sie durch Abgabe von Wind Ausgleich. Es ist leicht zu ermessen, dafs die Leistung des Regulators um so vollständiger sein mufs, je gröfser sein Rauminhalt ist. Bei grofsen Anlagen mit weiten Windleitungsröhren können diese die Aufgabe des Regulators erfüllen; auch die unten beschriebenen steinernen Winderhitzer mit grofsem räumlichen Inhalte können die Einschaltung eines besonderen Regulators entbehrlich machen. Ebenso sieht man davon ab, wenn zweizylindrige Gebläse, deren Kurbeln unter 90° gegeneinander gestellt sind, zur Anwendung kommen, oder wenn mehrere Gebläse

ihren Wind in eine gemeinschaftliche Leitung entlassen. Aus diesen Gründen findet man bei gröfseren Hochofenanlagen eigentliche Regulatoren nur noch selten in Benutzung. Wo sie erforderlich sind, fertigt man sie aus Eisenblech in Form eines weiten senkrecht stehenden oder wagerecht liegenden, an geeigneter Stelle in die Leitung eingeschalteten Rohrs[1]). Nach von Hauer soll bei einzylindrigen Gebläsen der Inhalt des Regulators mindestens das Zwanzigfache von dem Inhalte des Gebläsezylinders betragen; seitdem man aber die Geschwindigkeit der Gebläsekolben auf das Vierfache des früher üblichen Mafses gesteigert und demnach den Rauminhalt der Gebläsezylinder für eine bestimmte zu liefernde Windmenge verringert hat, reicht jenes Verhältnis für raschlaufende Gebläse schwerlich aus.

3. Die Trocknung des Gebläsewindes.

Alle atmosphärische Luft enthält bekanntlich Wasserdampf, gewöhnlich „Feuchtigkeit" genannt, dessen Mafs von der Temperatur und den Witterungsverhältnissen abhängt. In gemäfsigten Klimaten beträgt der mittlere Wassergehalt eines Kubikmeters Luft im Winter gewöhnlich etwa 5 g und steigt in den Sommermonaten auf etwa 15 g, bisweilen darüber[2]). Gelangt dieser Wassergehalt mit dem Gebläsewinde in den Hochofen, so wird er dort durch die weifsglühenden Kohlen zersetzt, und unter Verbrauch einer reichlichen Wärmemenge entsteht Kohlenoxyd und Wasserstoff (S. 116 I). Dieser Wärmeverbrauch mufs durch einen Mehraufwand von Brennstoff gedeckt werden, und schon lange, bevor man die Ursache kannte, hat man die Beobachtung gemacht, dafs der Gang der Hochöfen im Winter, wo der Feuchtigkeitsgehalt der Luft geringer ist, befriedigender verläuft als im Sommer. Der Gedanke liegt also nahe genug, den Wassergehalt des Gebläsewindes durch künstliche Trocknung tunlichst zu verringern, bevor der Wind zum Ofen gelangt; aber der Ausführung des Gedankens stand bis vor kurzem stets das Bedenken entgegen, ob die jedenfalls hohen Kosten des Verfahrens wohl durch den erreichbaren Erfolg gedeckt werden könnten.

Erst im Jahre 1904 ist durch Gayley auf dem Isabella-Werke bei Pittsburg der erste zielbewufste Versuch gemacht worden, einen Hochofen mit getrocknetem Gebläsewinde zu betreiben. Zum Trocknen dient eine Kühlkammer mit Rohren, durch welche unausgesetzt abgekühlte Chlorcalciumlösung hindurchfliefst; die Abkühlung der Lösung erfolgt durch eine Kältemaschine. In der Kammer wird die Luft auf — 3 bis — 8° C. abgekühlt, wobei der

---

1) Auf Abbildungen von Hochofenanlagen aus der ersten Hälfte vorigen Jahrhunderts gewahrt man nicht selten Regulatoren in Form einer grofsen Kugel. Man ging dabei von der Tatsache aus, dafs die Kugel bei gegebenem Rauminhalte die geringste Oberfläche besitzt, und dafs also für ihre Herstellung auch der geringste Materialbedarf entfällt. Die Anfertigung aber ist umständlicher als die eines Zylinders und die Wahl eines geeigneten Platzes für die Aufstellung schwieriger.

2) Ermittlungen hierüber: „Stahl und Eisen" 1904, S. 1290; 1905, S. 1030.

gröfste Teil ihres Wassergehalts sich als Eis an den Röhren ansetzt, um von Zeit zu Zeit entfernt zu werden[1]). Bei der vorhandenen Anlage verringerte sich der Wassergehalt der Luft von etwa 15 g auf 3 bis 4 g in 1 cbm Luft.

Die bei dieser Anlage erlangten Ergebnisse sind insofern befriedigend, als der Brennstoffverbrauch für Erzeugung der gleichen Menge Roheisen sich verringerte und die Erzeugung des Hochofens stieg. Kühlt man, wie es hier geschehen ist, die Luft vor dem Eintritte in das Gebläse, so wird dessen Arbeitsleistung verringert, da auch die Raummenge der kalten trocknen Luft kleiner ist als vor der Kühlung. Ein zuverlässiges Urteil, ob die Trocknung der Luft auch wirtschaftlich vorteilhaft ist, wird sich indes erst gewinnen lassen, wenn zahlreichere Vergleichsergebnisse vorliegen. Viele Hochofenleute sind geneigt, die Frage zu verneinen; denn nach einer Berechnung von Lindes betragen die jährlichen Kosten für den Betrieb einer Trockenanlage, welche geeignet ist, die für den Betrieb eines grofsen Hochofens erforderliche Luft zu trocknen, etwa 30000 Mark[2]).

4. Die Winderhitzer.

Geschichtliches. Einteilung der Winderhitzer.

Eine Erfindung von ungeahnter Tragweite war die Anwendung erhitzten Windes beim Hochofenbetriebe. Viele Millionen Tonnen Brennstoff sind dadurch gespart, die Schwierigkeiten der Betriebsführung verringert worden, und verschiedene Erzeugnisse des Hochofenbetriebes, welche jetzt als unentbehrlich gelten (Eisenmangan, Siliciumeisen) würden ohne Anwendung erhitzten Windes sich nicht gewinnen lassen.

Der Erfinder war James Beaumont Neilson, Beamter der Gasanstalt zu Glasgow. Bei der versuchsweisen Benutzung erwärmter Luft zum Betriebe eines Schmiedefeuers beobachtete er, dafs die Verbrennung lebhafter wurde; sein Vorschlag, den für den Hochofenbetrieb bestimmten Wind vorzuwärmen, fand jedoch bei den Fachleuten lebhaften Widerspruch. Man hatte längst beobachtet, dafs der Gang der Hochöfen im Winter durchschnittlich günstiger war als im Sommer, und man schrieb diesen Umstand unmittelbar der niedrigeren Temperatur des Windes im Winter zu. Absichtlich kühlte man schon damals bisweilen im Sommer den Wind, indem man ihn über kaltes Wasser leitete oder die Leitungsröhren mit Eis umgab, und den Gedanken, statt dessen den Wind zu erwärmen, hielt man für widersinnig. Daher waren die Schwierigkeiten grofs, welche sich anfänglich der versuchsweisen Anwendung der Erfindung Neilsons entgegenstellten. 1828 nahm er ein Patent auf die Erhitzung des Windes für Schmiedefeuer und Schmelzöfen, und es gelang ihm, von der Leitung der Clyde-Eisenwerke bei Glasgow die Erlaubnis zur Anstellung einiger Versuche bei einem

---

[1]) Näheres über die Einrichtung: „Stahl und Eisen" 1904, S. 1291; auch 1905, S. 3.
[2]) „Stahl und Eisen" 1905, S. 6.

der dortigen Hochöfen zu erlangen. Nachdem diese Versuche erfolgverheifsend gewesen waren, wurde 1829 der erste Winderhitzer für dauernden Betrieb auf demselben Werke eingeführt. Trotz der Unvollkommenheit der ersten Anlage, welche nur eine Erwärmung auf 100° C. ermöglichte, war doch der Erfolg überraschend befriedigend; der Brennstoffverbrauch für Darstellung gleicher Mengen Roheisen verringerte sich, und die Erzeugungsfähigkeit des Hochofens stieg. Neilson selbst verbesserte bald die Einrichtung seiner Winderhitzer, und wenige Jahre später wurden bereits fast sämtliche Hochöfen Schottlands mit warmem Winde betrieben. In der Jetztzeit gehört ein mit kaltem Winde betriebener Hochofen zu den Seltenheiten, nachdem man gelernt hat, einer etwaigen Benachteiligung der Eigenschaften des erfolgenden Roheisens, welche durch Erhitzung des Windes herbeigeführt werden könnte, durch zweckmäfsige Zusammensetzung der Hochofenbeschickung entgegenzuwirken [1]). Wesentlich gefördert wurde die allgemeine Anwendung der neuen Erfindung durch die oben besprochene, von Faber du Faur im Jahre 1837 eingeführte Entziehung und Benutzung der Gichtgase des Hochofens, und in Wasseralfingen, der Geburtsstätte der Gasfeuerungen, wurde auch die Heizung der Winderhitzer mit Hochofengasen zuerst erprobt. Erst durch diese Einrichtung erhielt man die Möglichkeit, die Vorteile der Winderhitzung in vollem Mafse auszunutzen, ohne fremden Brennstoffs dafür zu bedürfen [2]).

Verschiedenartig ist die Einrichtung der für die Winderhitzung benutzten Vorrichtungen; zahlreiche Formen von Winderhitzern sind im Laufe der Jahrzehnte entstanden und mehr oder minder rasch wieder verschwunden. Im grofsen und ganzen jedoch lassen sich zwei Hauptgruppen von Winderhitzern unterscheiden.

Bei der einen, älteren Gruppe wird der Wind durch eiserne Röhren hindurchgeführt, welche innerhalb einer gemauerten Kammer — eines Ofens — von aufsen erhitzt werden; man nennt sie eiserne Winderhitzer.

Bei der anderen Gruppe strömt der Wind durch eine gemauerte, mit feuerfesten Steinen ausgesetzte, zuvor stark erhitzte Kammer, hier einen Teil der in der Kammer aufgespeicherten Wärme aufnehmend und dadurch sich erwärmend; eine zweite gleiche Kammer wird inzwischen durch das hindurchströmende und verbrennende Gas geheizt. Von Zeit zu Zeit wird umgeschaltet; der Wind nimmt seinen Weg durch die inzwischen geheizte Kammer, während die erste aufs neue geheizt wird. Die Einrichtung beruht also auf denselben Vorgängen wie die aller Siemensfeuerungen (S. 153 I). Man nennt die Winderhitzer dieser Gruppe steinerne Winderhitzer.

Eiserne Winderhitzer gestatten auf die Dauer keine stärkere

[1]) Beim Betriebe mit Holzkohlen kommen noch Hochöfen ohne Winderhitzung vor. So z. B. wurden auf den Hüttenwerken von Kychtyme im Gouvernement Perm im Jahre 1900 vier Hochöfen mit warmem und vier mit kaltem Winde betrieben (Les usines de Kychtyme, Petersburg 1900).

[2]) Näheres über die Erfindung und erste Vervollkommnung der Anwendung erhitzten Windes: Ludw. Beck, Die Geschichte des Eisens, Band 4, S. 310 und 408; „Stahl und Eisen“ 1895, S. 509; ferner „Stahl und Eisen“ 1904, S. 562 (Baur).

Erhitzung des Windes als auf 450° C., obschon man, solange die eisernen Röhren noch neu sind, Temperaturen von über 550° hervorbringen kann. Das Eisen verliert aber um so rascher an Wärmeleitungsfähigkeit und wird um so rascher in Brandeisen (S. 297 I) umgewandelt, bekommt Risse und Sprünge, je stärker es erhitzt wird. In steinernen Winderhitzern dagegen lassen sich auch nach längerer Benutzung Windtemperaturen von 750—850° C. erzielen. In den meisten Fällen nun sinkt beim Hochofenschmelzen der Brennstoffverbrauch, wenn die Windtemperatur steigt, und für Darstellung gewisser Eisengattungen (Eisenmangan, Siliciumeisen) ist die Anwendung hocherhitzten Windes überhaupt unentbehrlich. Daher sind die später erfundenen steinernen Winderhitzer jetzt weit häufiger als die eisernen in Anwendung. Ihre Anlagekosten sind zwar höher als die der eisernen, ihre Unterhaltungskosten dagegen geringer; da die Querschnitte der steinernen Winderhitzer bedeutend gröfser sind als die der eisernen, und die Krümmungen, welche der Wind in ihnen zurückzulegen hat, geringer an Zahl, findet der Wind bei der Bewegung in den steinernen Winderhitzern geringere Widerstände, die Spannungsverluste sind unerheblicher, und die vom Gebläse verrichtete Arbeit wird günstiger ausgenutzt. Der Unterschied ist oft ziemlich bedeutend und spricht gleichfalls zugunsten der steinernen Winderhitzer.

Die eisernen Winderhitzer.

Bei den ursprünglichen, für kleine Hochöfen bestimmten Vorrichtungen dieser Art leitete man den gesamten zu erhitzenden Wind durch einen einzigen Röhrenstrang hindurch, welcher, aus geraden Muffenröhren und Krümmlingen zusammengesetzt, in verschiedenen Windungen sich durch die Erhitzungskammer hindurchzog. Je gröfser aber der Querschnitt eines solchen Rohres ist, desto ungünstiger ist das Verhältnis seiner wärmeaufnehmenden Aufsenfläche zu dem Querschnitte, desto ungünstiger also auch die Ausnutzung der Wärme. In Rücksicht hierauf verteilt man bei neueren Winderhitzern den Wind in eine Zahl einzelner Rohrstränge, welche von der Hauptwindleitung abgezweigt und durch den Heizraum hindurchgeführt werden, um später sich wieder in dem Hauptwindrohre für den heifsen Wind zu vereinigen. Den Röhren innerhalb des Heizraumes aber gibt man länglichen Querschnitt und erzielt auch hierdurch eine Vergröfserung der Heizfläche gegenüber den Röhren mit kreisförmigen Querschnitten.

Da allzu beträchtliche Abmessungen des einzelnen Winderhitzers nachteilig für die Gleichmäfsigkeit der Erhitzung der einzelnen Röhren sein würden, ordnet man, sofern gröfsere Windmengen zu erhitzen sind, mehrere Winderhitzer an, deren jeder nur einen Teil des gesamten Windes zu erhitzen bestimmt ist. Sowohl in dem Eintritts- als Ausgangsrohre jedes Erhitzers werden Absperrvorrichtungen (Schieber, Klappen, Ventile) angebracht, so dafs nötigenfalls eine einzelne Heizkammer zur Vornahme von Ausbesserungen ausgeschaltet und kalt gelegt werden kann, ohne dafs die übrigen in Mitleidenschaft gezogen zu werden brauchen.

Je gröfser die Heizfläche eines Winderhitzers im Verhältnisse zu der Windmenge ist, und je langsamer der Wind innerhalb der Röhren sich fortbewegt, d. h. je gröfser der Gesamtquerschnitt der Röhren ist, desto weniger stark brauchen diese selbst erhitzt zu werden, um dem Winde eine bestimmmte Temperatur zu verleihen, desto günstiger wird die entwickelte Wärme ausgenutzt, desto seltener werden Auswechslungen schadhaft gewordener Röhren erforderlich. Sehr verschieden ist indes bei den im Laufe der Zeit gebauten eisernen Winderhitzern sowohl jenes Verhältnis der Heizfläche zur Windmenge als auch die Geschwindigkeit des Windes in den Heizröhren. Rätlich ist es, nicht weniger als 2 qm Heizfläche für je 1 cbm Wind in der Minute und keine gröfsere mittlere Geschwindigkeit des Windes als 15 m in der Sekunde anzunehmen.

Die aufeinanderfolgenden geraden Röhren werden durch Krümmlinge (Rohrkrümmer) oder ähnliche Zwischenstücke mit einander verbunden. Man versieht den einen Teil der Röhren zu diesem Zwecke mit angegossenen Muffen, in welche die Enden der anderen Röhren hineintreten, und bewirkt die Verdichtung durch Rostkitt[1]). Die Verbindungsstellen legt man so, dafs sie von der Stichflamme nicht getroffen werden.

Bei der Anordnung der Röhren sucht man dem Gegenstromgesetze (S. 63 I) nach Möglichkeit Rechnung zu tragen, indem man Verbrennungsgase und den Wind in entgegengesetzter Richtung sich bewegen, d. h. den Wind da in die Kammer eintreten läfst, wo die Gase sie verlassen.

Die Röhren bestehen aus Gufseisen, seltener aus gegossenem Stahl. Man gibt ihnen Wandstärken von 15 bis 25 mm. Auf ihre Haltbarkeit ist die Beschaffenheit des verwendeten Eisens von Einflufs. Phosphorreiches Gufseisen neigt zum Zerspringen und ist deshalb zu verwerfen; ein mäfsiger Siliciumgehalt ist für Gufseisenröhren zwar notwendig, um Graphitbildung zu veranlassen (weifses Eisen würde zu spröde sein), ein Überschufs aber ist nachteilig. Ein von entbehrlichen Fremdkörpern tunlichst reines Eisen ist das geeignetste. Am haltbarsten pflegen sich Gufseisensorten für diesen Zweck zu erweisen, welche nicht über 0,5 v. H. Phosphor, 3 bis 3,5 v. H. Gesamtkohlenstoff, 0,7 bis 1,0 v. H. Silicium, 0,5 v. H. Mangan enthalten.

Von den zahlreichen Formen eiserner Winderhitzer, welche im Laufe der Zeit eingeführt wurden, sind nur noch wenige in Benutzung. Nach der Stellung der Heizröhren unterschied man *liegende Winderhitzer*, in welchen wagerecht liegende Röhren übereinander angeordnet und durch Krümmer verbunden waren; *stehende Winderhitzer* mit senkrecht auf und nieder gehenden Röhren, und *Winderhitzer mit hängenden Röhren*, welche, an einem oberhalb der Heizkammer gelagerten Verbindungskrümmer befestigt, frei in die Heizkammer eingehängt waren. Letztere

[1]) Dargestellt durch Vermischen von 60 Teilen feingesiebten Eisenfeilspänen, 2 Teilen Salmiak, 1 Teil Schwefelblumen und so viel Essig, dafs das Ganze dickbreiige Beschaffenheit erhält. Der Kitt wird bald nach dem Mischen mit Hilfe eines Stabes in die Fuge getrieben und mufs einige Tage erhärten, ehe das Anheizen beginnen kann.

Abb. 177.

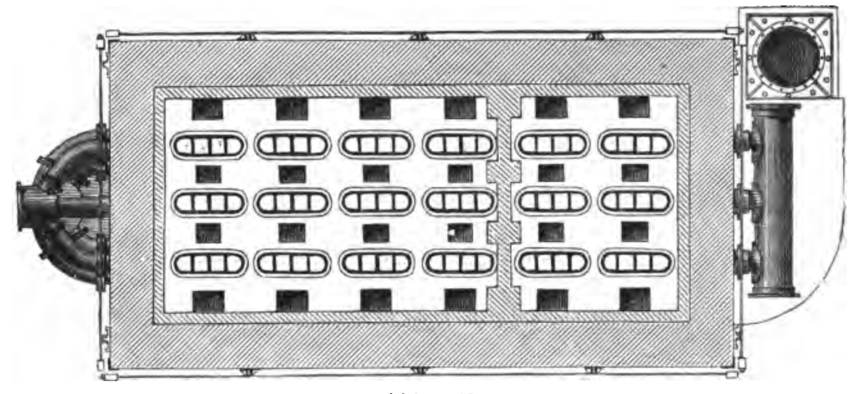
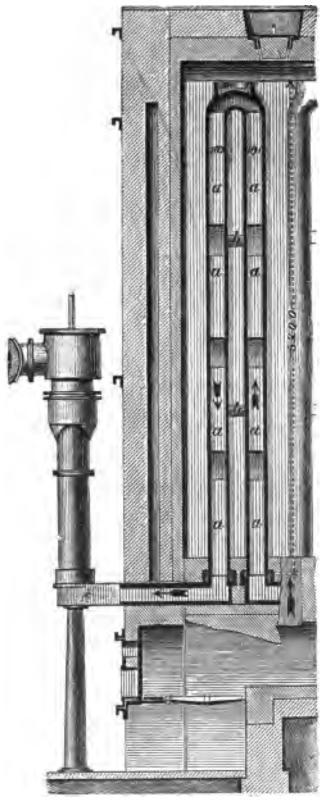


Abb. 178.

haben sich, sowohl hinsichtlich der Haltbarkeit als der Wärmeausnutzung, am wenigsten bewährt und sind deshalb nur vereinzelt in Anwendung gekommen.

Wo man überhaupt noch der eisernen Winderhitzer sich bedient, pflegt man solche mit stehenden Röhren zu wählen, welche sich bei zweckmäfsiger Anordnung durch Haltbarkeit auszeichnen. Es möge daher genügen, als Beispiel der eisernen Winderhitzer überhaupt einen solchen mit stehenden Röhren näher zu beschreiben. In Abb. 177 und 178 a. v. S. ist die jetzt übliche Einrichtung dieser Gattung von Winderhitzern dargestellt [1]). Um den einzelnen Röhren eine gröfsere Haltbarkeit zu verleihen, hat man sie als Doppelröhren gegossen, d. h. man hat je ein breites Rohr durch eine eingegossene Scheidewand in zwei Abteilungen zerlegt, in deren einer der Wind aufsteigt, um dann am Scheitel sich zu wenden und in der zweiten Abteilung abwärts zu gehen. Zwei aufser dieser Scheidewand eingegossene Rippen dienen zur ferneren Versteifung der Rohrwände, ohne die Bewegung des Windes zu beeinflussen. In Rücksicht auf die bequemere Herstellung und zur Vermeidung von Spannungen im Gusse ist im Scheitel der Röhren eine mit aufstehendem Rande versehene Öffnung gelassen, welche durch je zwei eingekittete Deckel verschlossen wird. Unten läuft jedes Rohr in zwei kurze Füfse aus; Fufskästen mit Muffen, vor der Stichflamme durch das Mauerwerk geschützt, stellen die Verbindung zwischen den aufeinanderfolgenden Röhren dar, wie in Abb. 177 erkennbar ist.


Abb. 179.

Der von rechts kommende kalte Wind wird vor dem Eintreten in die Heizkammer, wie bei allen eisernen Winderhitzern, in mehrere, und zwar im vorliegenden Falle drei, parallele Rohrstränge verteilt (Abb. 178). Links vereinigt sich der aus der Heizkammer kommende Wind wieder in einem gemeinschaftlichen Heifswindrohre. Das Hochofengas tritt von links in die unter dem Heizraume befindliche Verbrennungskammer. Ein unterhalb der Eintrittsstelle angebrachter Rost dient zur Unterhaltung eines schwachen Feuers aus Brennstoffabfällen, um bei etwa stattgehabter Unterbrechung des Gasstroms die sofortige Entzündung des wieder zutretenden Gases zu sichern. Durch 16 Öffnungen in der gewölbten Decke der Verbrennungskammer gelangt das Gas in die Heizkammer, welche durch eine Scheidewand in eine vordere längere

[1]) Aus der Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen in Preufsen, Band 30, Texttafel f.

und eine kürzere hintere Abteilung zerlegt ist. In der vorderen Abteilung steigt das Gas empor, in der zweiten fällt es abwärts, um durch acht Öffnungen in den unterhalb des Heizraumes liegenden, nach der Esse führenden Kanal zu entweichen.

Jede Rohrhälfte des abgebildeten Winderhitzers ist im Querschnitte 650 mm lang und 240 mm breit im Lichten; der freie Querschnitt für den Durchgang des Windes beträgt 0,1486 qm. Die Höhe der Doppelröhren ist 5,65 m, die äufsere Heizfläche 8,89 m. Ein aus 18 Doppelröhren bestehender Winderhitzer hat demnach eine äufsere Heizfläche von 160 qm.

Dem Vorteile der gröfseren Haltbarkeit solcher Doppelröhren steht der Nachteil gegenüber, dafs durch die scharfe Krümmung, welche der Wind im Scheitel zurückzulegen hat, der Bewegungswiderstand und somit der Spannungsverlust vergröfsert wird. Mitunter wendet man deshalb statt jener erst in späteren Jahren eingeführten Röhren zweischenklige Röhren an, ihrer Form halber Hosenröhren oder Siphonröhren genannt, in welchen der Wechsel der Bewegungsrichtung sich allmählicher vollzieht. Abb. 179 zeigt ein solches Rohr und den vorderen Teil der zugehörigen Verbrennungs- und Heizkammer. *aa* sind eingegossene Verstärkungsrippen, *bb* Querstege zur Versteifung der Schenkel. Im Scheitel des Rohrs ist auch hier eine durch einen eingelegten Deckel verschliefsbare Öffnung aus derselben Veranlassung eingegossen, wie bei den Doppelröhren in Abb. 177. Den Röhren gibt man 5 bis 6 m Höhe. Im übrigen ist die Einrichtung der Fufskästen, der Heiz- und Verbrennungskammer ganz so wie bei Anwendung von Doppelröhren.

Die steinernen Winderhitzer.

Die allgemeine Einrichtung dieser Winderhitzer wurde oben erläutert. Der Umstand, dafs ein Teil der gesamten in einer der Kammern aufgespeicherten Wärme das Mittel zur Erhitzung des Windes bildet, erklärt es, dafs die Temperatur des austretenden Windes um so mehr sinkt, je längere Zeit die Kammer zum Hindurchleiten von Wind dient, und je kleiner ihr Rauminhalt ist. Zur Vermeidung erheblicher Temperaturschwankungen mufs deshalb um so öfter gewechselt werden, je kleiner die Winderhitzer sind.

Unter der Voraussetzung, dafs die inneren Teile der Kammer gleich stark erhitzt wären, liefse sich die Abkühlung berechnen, welche der Wind innerhalb eines gewissen Zeitraums erfährt. So z. B. enthielt nach Gruner[1]) ein Winderhitzer, welcher dazu bestimmt war, 180 cbm Luft in der Minute oder 10 800 cbm = 13 390 kg Luft in der Stunde zu erhitzen, 134 cbm = 241 000 kg feuerfeste Ziegeln. Soll der Wind auf 800° Celsius erwärmt werden, so sind dafür, sofern man die spezifische Wärme der gewöhnlichen, etwas feuchten Luft = 0,239 annimmt, 13 390 × 800 × 0,239 = 2 557 490 W.-E. erforderlich, welche von den Ziegeln abgegeben werden müssen.

[1]) Gruner-Kupelwieser, Abhandlungen über Metallurgie Band I, S. 411.

Bei einer spezifischen Wärme der heifsen Ziegel = 0,23 würde mithin ihre Abkühlung sein:

$$\frac{2\,557\,490}{241\,000 \times 0{,}23} = 46 \text{ Grade.}$$

In Wirklichkeit jedoch ist der Vorgang etwas anders. An der Stelle, wo die Gase eintreten und verbrennen, werden die Ziegel stärker erhitzt als da, wo die Gase den Winderhitzer verlassen; den zu erhitzenden Wind aber führt man in allen Fällen, dem Gegenstromgesetze gemäfs, an der am wenigsten heifsen Stelle ein, also da, wo die Gase austreten, und läfst ihn den entgegengesetzten Weg wie diese nehmen. An der Eintrittsstelle des Windes sind demnach die Ziegel von vornherein weniger heifs, und durch den kalten Wind werden sie stärker abgekühlt als an dem entgegengesetzten Ende, wo sie nur mit dem schon hocherhitzten Winde in Berührung kommen.

Es ist jedoch auch leicht zu ermessen, dafs für die Leistung eines steinernen Winderhitzers nicht allein der räumliche Inhalt der in ihm angeordneten, als Wärmesammler dienenden feuerfesten Ziegel mafsgebend ist, sondern dafs auch, wie bei allen Siemensfeuerungen, die von den Ziegeln dargebotene Oberfläche eine Rolle spielt. An der Oberfläche der Ziegel findet die stärkste Erhitzung statt, und je weiter irgend eine Stelle davon entfernt ist, desto weniger hoch wird sie erhitzt, desto langsamer gibt sie ihre Wärme ab. Die zur Erhitzung einer bestimmten Windmenge erforderliche Heizfläche mufs bei den steinernen Winderhitzern schon deshalb beträchtlicher ausfallen als bei eisernen, weil ja nur die Hälfte der gesamten Heizfläche innerhalb eines und desselben Zeitraumes zur Wärmeabgabe benutzt werden kann und die andere Hälfte inzwischen erhitzt wird. Man gibt daher für 1 cbm Wind in der Minute jedem einzelnen Winderhitzer eine Heizfläche von mindestens 8 qm, häufiger 10 qm und darüber [1]).

Selten begnügt man sich jedoch auch bei nur einem Hochofen mit der Aufstellung zweier Winderhitzer. Es ist hierbei auf den Umstand Rücksicht zu nehmen, dafs nicht allein von Zeit zu Zeit Ausbesserungen erforderlich werden können, sondern dafs auch innerhalb gewisser Zeiträume eine Reinigung von angesetztem Gichtstaube notwendig wird, für welche die Winderhitzer gewöhnlich einige Tage hindurch der Benutzung entzogen werden müssen. Die Erfahrung hat ferner gelehrt, dafs es zur Ersparung an Brennstoff und zur Erzielung einer gleichmäfsigen Erhitzung des Windes zweckmäfsig ist, eine gröfsere Heizfläche zur Wärmeaufnahme als zur Wärmeabgabe zu benutzen. Häufiger ordnet man daher für einen Hochofen drei, auch wohl vier Winderhitzer an, von welchen zwei oder drei im Feuer und einer unter Wind

---

[1]) „Stahl und Eisen" 1883, S. 242 (Steffen). In der hier angezogenen Abhandlung ist auch der Versuch gemacht, die erforderliche Heizfläche theoretisch zu berechnen; ebenso in H. Wedding, Zweiter Ergänzungsband zur Eisenhüttenkunde; Braunschweig 1887, S. 233.

stehen; für zwei Hochöfen fünf bis sieben, von denen drei bis fünf geheizt werden, während zwei die Wärme abgeben.

Die Geschwindigkeit des durch den Heizraum hindurchgehenden Windes ist in allen Fällen erheblich geringer als bei den eisernen Winderhitzern. Man ist bei Bemessung des Querschnitts weniger als dort durch bauliche Rücksichten beschränkt; die langsamere Bewegung des Windes begünstigt die Wärmeabgabe und verringert die Reibungswiderstände. Bei den meisten steinernen Winderhitzern beträgt die Geschwindigkeit des kalten Windes 1,5 bis höchstens 2 m in der Sekunde, des erhitzten Windes 5 bis 8 m.

Sämtliche steinerne Winderhitzer sind äufserlich von einem luftdicht genieteten zylindrischen Mantel aus Eisenblech umgeben, ohne welchen es nicht möglich sein würde, beträchtliche Windverluste zu vermeiden. Zwischen Mantel und Steinfüllung bleibt ein Zwischenraum von 40 bis 50 mm Breite, um der Ausdehnung der Steine Raum zu geben. Da sich in den Zügen Staub ablagert, welcher von den Gichtgasen mitgeführt wurde, sind Vorrichtungen unentbehrlich, durch welche von Zeit zu Zeit eine Reinigung vorgenommen werden kann; im übrigen ist gerade bei den steinernen Winderhitzern die Benutzung möglichst staubarmer Gase wünschenswert, und schon bevor man daran dachte, die Gichtgase für den Betrieb von Gasmaschinen zu verwenden, sind verschiedene der in der Neuzeit eingeführten Verbesserungen der Gasreiniger durch das Bestreben veranlafst worden, steinerne Winderhitzer mit den Gasen heizen zu können, ohne eine häufige Verstopfung der Züge und rasche Zerstörung der Ziegel durch den abgelagerten Staub befürchten zu müssen.

Die ersten Versuche, steinerne Winderhitzer für den Hochofenbetrieb anzuwenden, wurden im Jahre 1860 durch Cowper auf der Ormesbyhütte in Cleveland gemacht. Die Cowper-Winderhitzer der ersten Jahre litten jedoch an verschiedenen erheblichen Mängeln. Die zur Aufnahme der Wärme bestimmten Ziegel waren in gleicher Weise wie in den Wärmespeichern der Siemens-Öfen angeordnet; eine Reinigung von aufsen war unmöglich, und die sämtlichen Steine mufsten bei den Reinigungen aus dem Heizraume entfernt werden. Diese Reinigungen aber waren bei den mangelhaften Reinigungsvorrichtungen der damaligen Zeit weit häufiger erforderlich als jetzt. Die an den verschiedenen Zu- und Ausgangsrohren angebrachten, ziemlich mangelhaft eingerichteten Schieber oder Ventile wurden infolge der starken Erhitzung und der Ablagerung von Gichtstaub bald undicht und versagten den Dienst. So kam es, dafs man, wenigstens auf dem Festlande, mehrere Jahre hindurch die bereits eingeführten Cowper-Winderhitzer wieder kalt legte und zu den eisernen Winderhitzern zurückkehrte.

Erst um das Jahr 1870 waren die Hauptschwierigkeiten überwunden, teils durch Cowper selbst, teils durch Thomas Whitwell in Stockton on Tees, welcher sich neben Cowper anerkennungswerte Verdienste um die Vervollkommnung der steinernen Winderhitzer und ihre Einführung beim Hochofenbetriebe erworben hat. Seit jener Zeit haben die steinernen Winderhitzer von Jahr

zu Jahr zunehmende Bedeutung erlangt und, wie schon erwähnt, die bis dahin allein angewendeten eisernen Winderhitzer allmählich zum gröfsten Teile verdrängt.

Die meisten der in der Jetztzeit benutzten steinernen Winderhitzer sind nach der von Cowper erfundenen verbesserten Form gebaut. In Rücksicht auf die Bedeutung jedoch, welche die von Whitwell eingeführten Winderhitzer für die Ausbreitung der steinernen Winderhitzer überhaupt und somit für die Geschichte des Hochofenbetriebes besitzen, mögen auch diese hierunter eine kurze Schilderung finden.

Die Whitwell-Winderhitzer.

Die ersten Whitwell-Winderhitzer wurden 1869 gebaut; auf dem Festlande fanden sie vorzugsweise seit 1873 Eingang, nachdem die Weltausstellung zu Wien Gelegenheit geboten hatte, die Bekanntschaft mit ihrer Einrichtung und mit den erlangten Betriebsergebnissen in weiteren Kreisen zu verbreiten.

Einer der ältesten Whitwell-Winderhitzer, welche im Laufe der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts in ziemlich grofser Zahl gebaut wurden, ist in Abb. 180 und 181 auf folgender Seite in etwa $^1/_{150}$ der wirklichen Gröfse dargestellt. Die zum Heizen bestimmten Gase treten aus dem Kanale *B* durch das Ventil *C* in den Heizraum und werden hier durch eingesaugte Luft verbrannt, welche durch die verschliefsbare Öffnung *i* (Abb. 180) zunächst in Kanäle innerhalb des Mauerwerks gelangt, um hier vorgewärmt zu werden, und dann erst durch wagerechte, zum gröfsten Teile in der ersten Scheidewand angebrachte Öffnungen in den Heizraum eintritt.

Durch die Scheidewände *aa* . ., welche abwechselnd oben und unten mit Durchgangsöffnungen versehen sind, werden nun die Gase gezwungen, fünfmal aufwärts und ebenso oft abwärts zu ziehen, um schliefslich durch das Ventil *D* nach dem Essenkanal *E* zu entweichen. Drei parallele Querwände *bb* dienen teils zur Versteifung der Wände *aa*, teils auch zur Vergröfserung der Heizfläche. Durch Öffnungen in diesen Querwänden, welche in Abb. 180 sichtbar sind, stehen die einzelnen Abteilungen miteinander in Verbindung.

Nach erfolgter Erhitzung des Winderhitzers werden die Gasventile geschlossen und der kalte Wind durch das an das Ventilgehäuse *D* angeschlossene, mit Schieber versehene wagerechte Rohr zugeleitet. Nachdem er in entgegengesetzter Richtung wie zuvor die Gase den Heizraum durchströmt hat, tritt er durch das Ventil *F* aus, um dem Hochofen zugeführt zu werden.

Die Reinigung von angesetztem Staube geschieht durch die in der Decke angebrachten Verschlüsse *ee*, und zwar von aufsen her, da jeder einzelne Kanal von aufsen zugänglich ist; der von den Wänden abgekehrte Staub sammelt sich am Boden und wird von hier durch die Verschlüsse $e_1 e_1$ (Abb. 181) entfernt. Auf diese Weise ist die Reinigung möglich, ohne dafs der Winderhitzer zuvor kalt gelegt zu werden braucht.

Whitwell-Winderhitzern der abgebildeten Art gab man ursprünglich 6,7 m äufseren Durchmesser bei 8 bis 9 m Höhe. Bei diesen Abmessungen besitzt der Winderhitzer eine Heizfläche von

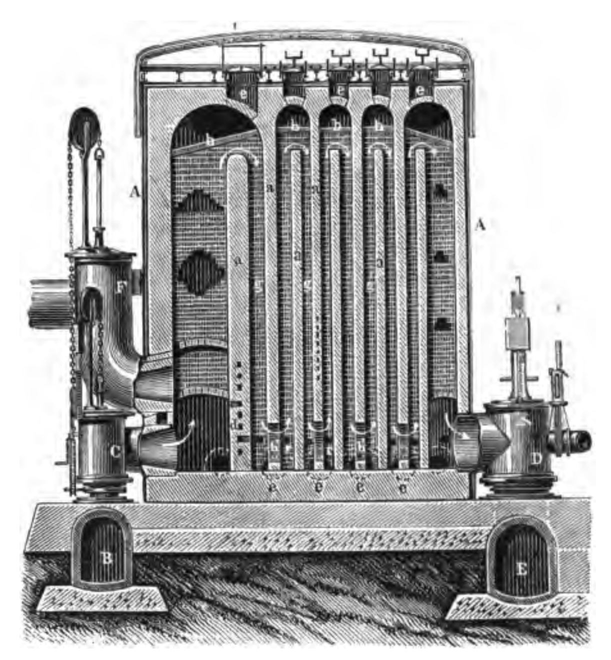


Abb. 180.

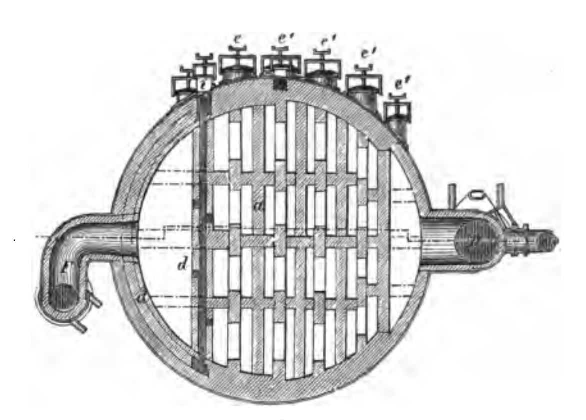


Abb. 181.

ungefähr 800 qm. Später steigerte man die Höhe, ohne den Durchmesser zu ändern, bis auf 18 m und vergröfserte dadurch die Heizfläche auf 1500 bis 1600 qm.

Eine schwache Seite der Whitwell-Winderhitzer bilden die zahlreichen Krümmungen, welche die Heizgase und der Gebläse-

wind innerhalb der Kammer zurückzulegen haben. Sie erschweren deren Bewegung, machen also, wie die Erfahrung gelehrt hat, die Anwendung kräftig saugender, hoher und weiter Essen notwendig, um die zur Verbrennung der Gase erforderliche Luftmenge zuzuführen, und erhöhen die erforderliche Arbeitsleistung des Gebläses.

Zur Abminderung dieses Übelstandes, welcher unter ungünstigen Verhältnissen die Brauchbarkeit des Winderhitzers in Frage stellen kann, sind von verschiedenen späteren Erbauern solcher Winderhitzer Änderungen eingeführt worden, welche sämtlich das Ziel verfolgen, die Zahl der Krümmungen zu verringern, zugleich aber die Heizfläche so viel als tunlich zu vergröfsern. Man verringerte die Zahl der auf und ab gehenden Kanäle, machte sie breiter und baute, um trotzdem nicht an Heizfläche zu verlieren, senkrechte Zwischenwände ein. Dadurch wurden diese Winderhitzer den hierunter beschriebenen Cowper-Winderhitzern ähnlich. Da sie nur vereinzelt zur Anwendung gebracht und inzwischen gröfstenteils wieder verschwunden sind, kann von einer näheren Beschreibung abgesehen werden[1]).

Die Cowper-Winderhitzer.

Den Hauptnachteil der Whitwell-Winderhitzer bilden, wie erwähnt, die zahlreichen Krümmungen in dem Wege der Gase und des Windes und der dadurch vermehrte Widerstand für deren Bewegung. Dieser Nachteil wird bei den von Cowper erfundenen Winderhitzern vermieden, da in ihnen die Gase und der Wind sich nur einmal auf- und einmal abwärts bewegen. Die Verbrennung der Gase findet in einem schachtartigen Kanale statt, in welchem sie aufsteigen; alsdann verteilen sie sich in zahlreiche (600 bis 900) Kanäle von verhältnismäfsig engem Querschnitte, um in ihnen abwärts zu strömen und dann den Winderhitzer zu verlassen. Der Wind nimmt, nachdem Umschaltung stattgefunden hat, den entgegengesetzten Weg.

Bei den seit 1870 eingeführten Cowper-Apparaten liegt der erwähnte Verbrennungsschacht an der einen Seite des inneren Raumes; bei den älteren Winderhitzern war er in der Mitte angeordnet. Wenn man später bei einzelnen Anlagen jene frühere Anordnung des Verbrennungsschachts in der Mitte wieder in Anwendung gebracht hat, so bilden diese Fälle doch Ausnahmen[2]).

Ein im Jahre 1889 erbauter Cowper-Winderhitzer, dessen Einrichtung mit der noch heute üblichen im wesentlichen übereinstimmt, ist in Abb. 182 und 183 dargestellt. *a* ist das Zulafs-

---

[1]) Solche verbesserte Whitwell-Winderhitzer sind beschrieben in den Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 9, S. 480; „Stahl und Eisen“ 1883, S. 23; Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1886, S. 524 und 1888, S. 183; Berg- und hüttenmännische Zeitung 1878, S. 195.

[2]) Solche Abarten der Cowper-Winderhitzer mit Verbrennungsschacht in der Mitte sind z. B. die von Massicks und Crooke auf einigen englischen und amerikanischen Eisenwerken eingeführten Winderhitzer („Stahl und Eisen“ 1883, S. 28; 1892, S. 569); ferner die von Kennedy auf amerikanischen Werken, z. B. in Duquesne bei Pittsburg, erbauten („Stahl und Eisen“ 1897, S. 356).

rohr für das Gas, *b* eine Öffnung für den Zutritt der Verbrennungsluft. Vorwärmung der letzteren findet bei dem abgebildeten wie überhaupt bei den älteren Winderhitzern nicht statt. Innerhalb des 1600 mm weiten, etwa 19 m hohen Schachtes vollzieht sich die Verbrennung. Die Verbrennungsgase ziehen durch die erwähnten, in den Abbildungen erkennbaren Kanäle abwärts, um durch das Rohr *c* nach der Esse zu entweichen. Der kalte Wind tritt durch *d* (Abb. 183) ein, der erhitzte Wind bei *e* aus. Die Ziegel, welche die Kanäle bilden, ruhen auf Gufseisengittern, welche von gufseisernen Füfsen getragen werden. Abb. 183 zeigt teils die Gitter, teils die Füfse von oben. Bei neueren Anlagen ersetzt man diese Eisenteile, welche durch die Hitze ziemlich rasch zerstört werden, in der Regel durch einen gemauerten Unterbau, wie bei dem unten in Abb. 186 dargestellten Winderhitzer.

Die Kanäle des hier abgebildeten Winderhitzers sind 150 mm im Geviert weit bei 55 mm Wandstärke; in anderen Fällen findet man Durchmesser von nur 120 mm und Wandstärken bis 70 mm.

Zur Ermöglichung der Reinigung sind in der Haube die in Abb. 182 sichtbaren Mannlochverschlüsse angebracht. Der Winderhitzer wird kalt gelegt, nach Verlauf von etwa drei Tagen steigt ein Arbeiter hinein und reinigt mit Hilfe desselben Verfahrens, welches der Essenkehrer zum Reinigen sogenannter russischer Röhren anwendet (d. h. mit Benutzung einer eisernen an einer Kette hängenden Kugel, an welcher eine Drahtbürste befestigt ist), die einzelnen Kanäle. Der niedergefallene Staub wird alsdann entweder durch besondere für diesen Zweck am Boden angebrachte Öffnungen, wie bei den Whitwell-Apparaten, oder durch die Öffnung bei *c* entfernt, nachdem man das anschliefsende Gasabzugsrohr in der später zu beschreibenden Art und Weise abgelöst und die Öffnung dadurch freigemacht hat. Um jedoch ein allzu häufiges Kaltlegen der Winderhitzer zu vermeiden, entfernt man auf manchen Werken von Zeit zu Zeit die gröfsere Menge des abgelagerten Staubes durch eine Verpuffung von Schiefspulver (Ausschiefsen mit Böllern) oder Ausblasen mit Gebläsewind bei geöffneter Kuppel. Bilden gut gereinigte oder von Natur staubarme Gase den Heizstoff, so lassen sich die Cowper-Winderhitzer mehrere Jahre hindurch betreiben, bevor die beschriebene gründliche Reinigung durch Bürsten erforderlich wird.

Der abgebildete Winderhitzer besitzt eine Heizfläche von ungefähr 2000 qm. Um die Heizfläche zu vergröfsern, gibt man neueren Winderhitzern in der Regel eine noch beträchtlichere Höhe, und zwar bis 34 m. Eine Vergröfserung des Durchmessers über das seit Jahrzehnten übliche Mafs von 6 bis 7 m äufserlich würde dagegen nur die Anlagekosten erhöhen, ohne wesentlichen Nutzen zu bringen, denn die Schwierigkeit, die Gase und den Wind möglichst gleichmäfsig innerhalb des gesamten Querschnitts zu verteilen, wächst mit dem Durchmesser.

Die Züge des abgebildeten Winderhitzers haben quadratischen Querschnitt und werden durch hochkantig stehende im Verband zusammengestellte Ziegel von der gewöhnlichen Form gebildet. Diese Anordnung ist ihrer Einfachheit halber ziemlich gebräuchlich; in

anderen Fällen gibt man den Zügen auch sechseckigen oder kreisrunden Querschnitt. Die Abb. 184 und 185 zeigen solche üblichen Steinformen[1]). Da in Zügen von quadratischem Querschnitte sich vorwiegend in den Ecken Staub ansetzt und hier schwierig zu entfernen ist, wird die Reinigung der Züge durch die Wahl der zuletzt erwähnten Formen erleichtert.

Zur Ersparung von Heizgas und nötigenfalls zur Erzielung höherer Verbrennungstemperaturen wärmt man bei neueren Cowper-Winderhitzern bisweilen die Verbrennungsluft vor, wie es bei den Whitwell-Winderhitzern schon von Anfang an üblich war. Die Abb. 186 und 187 zeigen einen Winderhitzer dieser Art[2]). Das Gas tritt, wie gewöhnlich, unten bei *a* ein und gelangt durch sechs Schlitze (in Abb. 187 erkennbar) in den etwas höher liegenden Verbrennungsraum. Die Luft wird durch zwei verschliefsbare Öffnungen *bb* angesaugt, zieht in Kanälen in der Vorderwand des Verbrennungsschachts aufwärts, in der Rückwand abwärts und gelangt durch sieben Schlitze unmittelbar oberhalb der Gasschlitze, aber

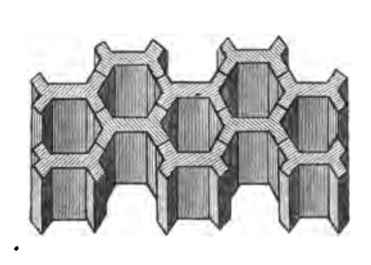


Abb. 184.

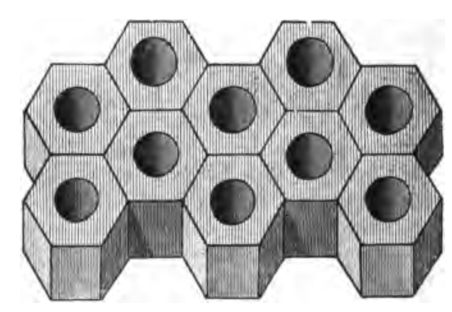


Abb. 185.

zwischen diesen angeordnet, in den Schacht. *d* ist eine Öffnung (ein Mannloch), durch welche der Schacht von aufsenher zugänglich ist; in dem Deckel der Öffnung befindet sich ein Schauloch, durch welches sich die Verbrennung beobachten läfst. Von einer mit Treppe versehenen Bühne aus sind die Öffnungen *b* und *d* zugänglich. Das Gas entweicht bei *e*; in Abb. 187 ist die Öffnung geschlossen, das zur Esse führende Rohr zur Seite gedreht, und der Apparat dient in dieser Stellung zum Erhitzen des Windes. Dieser tritt bei *f* ein und bei *g* (Abb. 186) aus.

In anderen Fällen hat man, weil die in die Umfassungswand des Verbrennungsschachtes verlegten Luftkanäle leicht dessen Haltbarkeit schwächen, sie unter dem Boden des Winderhitzers angebracht und durch eiserne Platten mit darüberliegenden Steinschichten abgedeckt. Die Luft tritt an der Seite ein, wo die Verbrennungsgase entweichen, zieht quer unter dem Winderhitzer bis unter den Verbrennungsschacht und gelangt durch mehrere

---

[1]) Über sonstige Steinformen vergleiche die unter Literatur genannten Abhandlungen Lürmanns.

[2]) Nach einer Abhandlung von F. Braune in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1898, S. 1013.

senkrecht stehende Brenner, d. h. Kanäle mit vierseitigem Querschnitte, welche mit ebensolchen das Gas zuführenden Kanälen abwechseln, in den Verbrennungsschacht.

Zum Tragen der Heizkanäle dienen bei dem hier abgebildeten Winderhitzer statt der Eisenteile des Winderhitzers Abb. 182 niedrige Mauerpfeiler, welche durch gemauerte Bogen verbunden sind. Auf den Bogen stehen hochkantig feuerfeste Platten von 600 mm Höhe, und auf diesen ruhen die Steine, welche die Heizkanäle bilden.

Bei einem Cowper-Winderhitzer von der zuerst (Abb. 182 und 183) dargestellten Einrichtung werden die Gase und der Wind, ihrem Bestreben, den kürzesten Weg zu nehmen, folgend, vorwiegend in der Mitte zwischen dem Verbrennungsschacht und den gegenüber befindlichen Auslafs- und Eintrittsöffnungen sich bewegen; die seitlich davon befindlichen Züge werden weniger berührt, und die Ausnutzung der Heizfläche ist demnach unvollkommen.



Abb. 188.

In verschiedener Weise hat man diesem Übelstande abzuhelfen gesucht.

Gibt man dem Verbrennungsschachte statt des kreisförmigen Querschnitts elliptische Form, wie in Abb. 187, so erhält er bei gleicher Gröfse des Querschnitts beträchtlichere Breite, und es läfst sich erwarten, dafs auch der Gas- und der Windstrom hierdurch eine etwas, wenn auch nicht erheblich stärkere Ausbreitung in den Heizkanälen erfahren wird.

Ein durch Boecker eingeführtes und bei zahlreichen Ausführungen mit gutem Erfolge zur Anwendung gelangtes Mittel zur Erreichung des Ziels ist die Anordnung engerer Kanäle in der Mitte, weiterer an den Seiten, um die Widerstände in den mittleren Zügen zu erhöhen: z. B. je 170 mm Durchmesser in der Mitte, 200 mm äufserlich, oder 130 mm in der Mitte und 160 mm äufserlich [1]). Abb. 188 zeigt diese Anordnung im Grundrisse.

---

[1]) „Stahl und Eisen" 1889, S. 920; Versuche über die durch Boeckers Einrichtung erreichbare Gasersparung: „Stahl und Eisen" 1899, S. 487.

Auch durch Anordnung mehrerer am Umfange des Winderhitzers verteilter Austrittsöffnungen für das Gas und Eintrittsöffnungen für den Wind, welche sämtlich mit Stellvorrichtungen (Schiebern, Drosselklappen) versehen sind, hat man bisweilen eine bessere Verteilung zu erreichen gesucht.

Die Verschlüsse der steinernen Winderhitzer.

Zu den Hindernissen, welche in den ersten Jahren nach Erfindung der steinernen Winderhitzer sich ihrer allgemeineren Anwendung entgegensetzten, gehörte auch die Schwierigkeit, Verschluſsvorrichtungen für die Gas- und Windöffnungen anzubringen, welche, ohne in der hohen Temperatur undicht zu werden, doch sich ohne Schwierigkeit handhaben lassen. Bei dem ziemlich bedeutenden Querschnitte jener Öffnungen und der starken Pressung, mit welcher bei gröſseren Hochöfen der Wind durch die Kammer hindurchzieht, hat jede an und für sich nicht einmal sehr erhebliche Undichtigkeit in dem Verschlusse der Öffnungen einen bedeutenden Windverlust zur Folge.

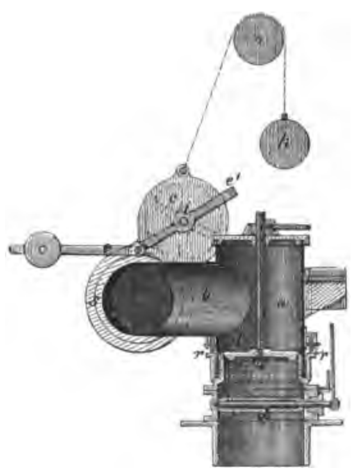


Abb. 189.

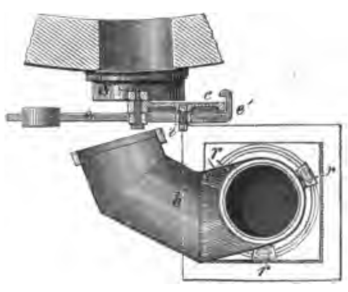


Abb. 190.

Am einfachsten kann die Einrichtung zur Absperrung des kalten Windes sein. Ein gut gearbeiteter Schieber erfüllt hier den Zweck.

Für den Verschluſs des Heiſswindrohres wurden bei den im Laufe der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts erbauten Whitwell-Winderhitzern vielfach wassergekühlte Ventile benutzt. Das aus Eisenblech gefertigte Ventil hatte linsenartige Gestalt, war hohl, und in der Ventilstange waren zwei in das Innere des Ventils führende Röhren angebracht, an deren Enden Kautschukschläuche angeschlossen waren, um das kalte Wasser zu- und das erwärmte abzuleiten. Durch eine Kurbel mit Getriebe und Zahnstange wurde die Bewegung des mit Gegengewicht versehenen Ventiles bewirkt. Auch der guſseiserne Ventilsitz war hohl und wurde durch hindurchflieſsendes Wasser kühl erhalten. Die auf S. 121 gegebene Abb. 180 eines älteren Winderhitzers zeigt von auſsen die Ventilstange nebst Kette und Gegengewicht. Wo die Einrichtung einmal eingeführt war, findet man sie auch jetzt noch mitunter in Benutzung; sie ist jedoch kostspielig und schwerfällig zu handhaben. Bei den neueren Winderhitzern sind diese Ventile daher auſser Anwendung gekommen. Man benutzt Schieber aus

Stahlgufs mit gekrümmten Flächen, welche leichter als gerade dem Verziehen widerstehen, mit Asbest gedichtet. Gewöhnlich bringt man zwei solcher Schieber hinter einander an, um desto dichteren Abschlufs zu erhalten und gegen alle Gefahren geschützt zu sein, falls ein Schieber versagen sollte. Bei dem Winderhitzer Abb. 182

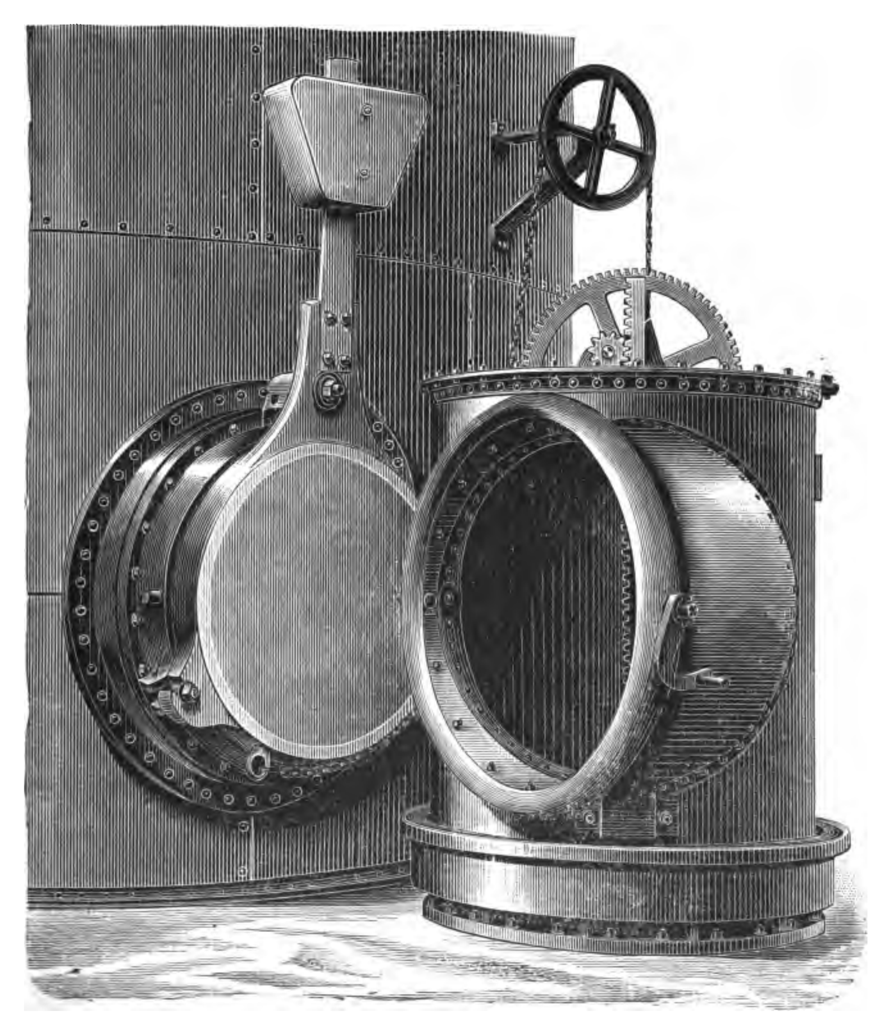


Abb. 191.

sind in dem Heifswindrohre die beiden Schieber erkennbar. Mitunter versieht man auch diese Schieber mit Wasserkühlung, indem man sie hohl giefst, gewöhnlich aus Bronze, und Wasser einleitet. Sie haben sich jedoch nur dann bewährt, wenn man sehr reines Kühlwasser zur Verfügung hat und mit Sorgfalt darüber wacht, dafs ununterbrochener Durchflufs des Wassers stattfindet. Bleibt es nur

kurze Zeit aus, so werfen sie sich leicht. Die Bewegung der Schieber kann mit Hilfe eines Hebels bewirkt werden.

Für die Zu- und Auslafsöffnungen der Gasleitung sind auf deutschen Eisenwerken vornehmlich zwei verschiedene Verschlüsse in Anwendung. Ein von F. Burgers eingeführtes Drehventil hat die in Abb. 189 und 190 a. S. 126 dargestellte Einrichtung. Das aus Eisenblech gefertigte Rohr *a* taucht mit seinem unteren Rande in eine Wasserrinne und wird von drei aufserhalb befestigten Rollen *rr* getragen, wodurch eine leicht auszuführende Drehung um seine

Abb. 192.

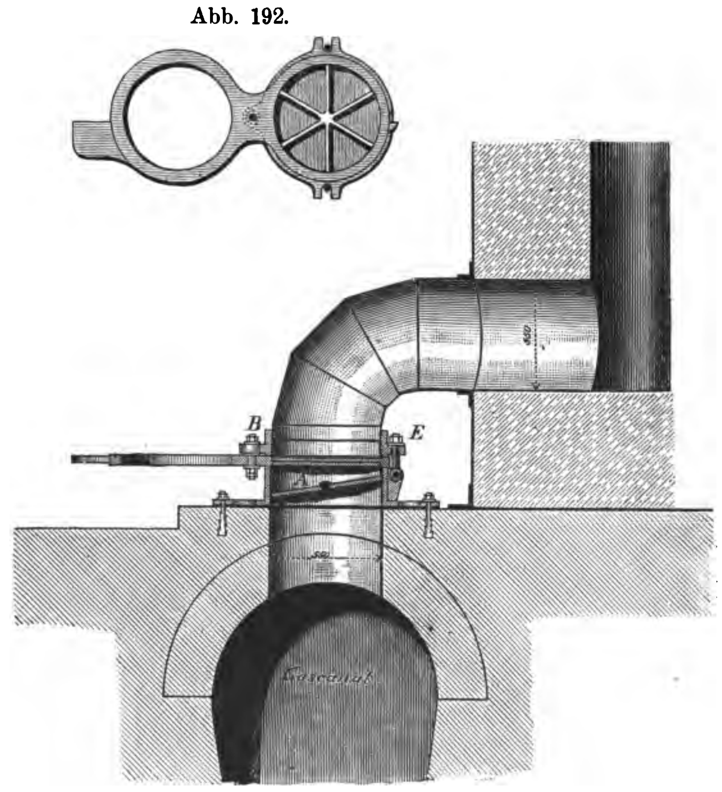


Abb. 193.

Achse ermöglicht ist. Seitlich ist an das Rohr der Krümmer *b* angeschlossen, welcher mit dem Rohre gedreht wird, und dessen Mündung mit einem abgedrehten Borde versehen ist. An dem Mantel der Heizkammer ist der gufseiserne Rahmen *S* befestigt. Soll das Gas in die Kammer eintreten, so dreht man das Rohr *a* so weit herum, dafs die Mündung des Krümmers *b* sich dicht an *S* anlegt, öffnet das in gewöhnlicher Weise eingerichtete Tellerventil *A*, welches durch Zahnstange und Getriebe bewegt wird [1]),

[1]) Auch ein in dieselbe Wasserrinne wie das Rohr *a* eintauchendes Glockenventil aus Eisenblech läfst sich an Stelle des Tellerventils benutzen. Bei dem Auslafsventil des Winderhitzers Abb. 182 ist eine solche Form gewählt.

und regelt den Gasstrom mit Hilfe der Drosselklappe *d*. Soll dagegen das Blasen beginnen, so dreht man zur Absperrung des Gases das Rohr zur Seite in die durch Abb. 190 wie auch oben in Abb. 187 bei *e* dargestellte Lage, bringt durch Drehung des Hebels *e* den Gufseisenteller *c* vor die Öffnung des Rahmens *S*, welche dadurch abgedeckt wird, und drückt ihn durch Anziehen der Schraube *i* fest gegen den Rand, so dafs in wenigen Sekunden ein luftdichter Abschlufs der Öffnung hergestellt ist. Der Arm e_1 des Kniehebels greift dabei, um der Schraube den erforderlichen Gegendruck zu verschaffen, mit seinem bügelartig umgeschmiedeten Ende hinter eine angegossene Nase des Rahmens *S*. Ein an den Teller *c* angeschlossenes Gegengewicht *h* erleichtert beim Öffnen das Empordrehen, nachdem die Verschlufsschraube gelöst wurde. Die Abb. 191 a. S. 127 zeigt in gröfserem Mafsstabe die Stellung der Teile während des Blasens[1]).

Der Vorteil dieser Einrichtung liegt in dem Umstande, dafs der Ventilteller *A* nur zur Absperrung des Gases dient und nicht auch, wie bei früheren Einrichtungen, das Austreten des heifsen Windes verhindern soll, somit kalt bleibt und von aufsenher zugänglich ist. Er kann ohne Schwierigkeit gereinigt und nötigenfalls ausgewechselt werden.

Das Auslafsventil ist ebenso wie das Einlafsventil eingerichtet, nur entsprechend gröfser in den Abmessungen wegen des gröfseren Rauminhaltes der austretenden Gase.

Ebensolche Teller mit Gegengewichten, wie hier zum Verschlusse der Öffnungen während des Blasens dienen, kann man auch zum Verschlusse der Lufteinströmungs- und Reinigungsöffnungen anwenden.

Bei dem Winderhitzer Abb. 182 sind die sämtlichen Öffnungen mit den hier besprochenen Burgers-Verschlüssen versehen.

Eine andere, ebenfalls häufig benutzte Absperrvorrichtung (Abb. 192 und 193) wurde durch Schmidt eingeführt und ist unter dem Namen Schmidtsche Brille bekannt. Sie besteht aus der Verbindung eines aus Gufseisen oder Stahl gefertigten Tellers, welcher als Verschlufsvorrichtung dient, mit einem Ringe, dessen innerer Durchmesser dem inneren Durchmesser der Rohrleitung entspricht. Beide Teile sind in einem Stücke gegossen und in ihrer Ebene um einen gemeinschaftlichen Zapfen drehbar, wie Abb. 192 zeigt. Die beiden äufseren Flächen des Gufsstückes (der Drehscheibe oder Brille) sind glatt bearbeitet. Abb. 193 zeigt die Anbringung in der Leitung, und zwar in der Stellung, bei welcher Absperrung stattfindet (während des Blasens); die Brille ist so gedreht, dafs der Teller sich innerhalb der Leitung befindet und die Absperrung bewirkt. Damit winddichter Abschlufs stattfinde, ist das aus Eisenblech gefertigte Gasrohr an der Stelle, wo die Brille eingelegt ist, mit einem abgedrehten Borde versehen, gegen welchen der Rand der Brille durch Anziehen der Schraube *E* (deren zwei vorhanden sind) geprefst wird. *B* ist der Drehungszapfen. Soll die Verbindung mit dem Gaskanale hergestellt werden, so löst man

[1]) Aus dem Musterbuche der Firma Heintzmann & Dreyer in Bochum.

die Schrauben E, klappt sie nieder, dreht die Brille um 180 Grad, so dafs der Ring sich innerhalb der Leitung befindet, bringt die Schraube E wieder in ihre Stellung und öffnet die Drosselklappe A. Ebenso wie die abgebildete Zulafsvorrichtung ist die Auslafsvorrichtung eingerichtet; nur besitzt sie entsprechend gröfsere Abmessungen.

Die Schmidtsche Brille ist einfacher als das Burgerssche Ventil, aber sie macht, da die Rohrleitung festliegt, die Anbringung besonderer Reinigungs- und Einsteigeöffnungen erforderlich, während bei der Einrichtung nach Burgers die Öffnungen, an welche sich die drehbaren Rohre anschliefsen, zugleich jenem anderen Zwecke dienen können. Nicht selten findet man deshalb auch beide Vorrichtungen an einem und demselben Winderhitzer, für den Einlafs den Verschlufs von Schmidt, für den Auslafs den von Burgers.

5. Die Windleitung und Windverteilung.

Man benutzt Eisenblechröhren, selten und nur für kleine Windmengen Gufseisenröhren, welche in geeigneter Weise untereinander verbunden werden. Je gröfser der Durchmesser der Röhren ist, desto geringer sind die Pressungsverluste, welche der Wind durch die Reibung erleidet; dafs eine ausreichend weite Leitung auch bei einzylindrigen Gebläsen die Einschaltung eines besonderen Regulators entbehrlich machen könne, wurde schon früher erwähnt. Immerhin wachsen mit dem Durchmesser die Herstellungskosten der Leitung. Nach v. Hauer soll die Geschwindigkeit des Windes in den Leitungsröhren höchstens 10 bis 15 m in der Sekunde betragen, woraus sich für eine gegebene Windmenge der Querschnitt der Röhren berechnen läfst. Für die Heifswindleitung ist die bedeutende Vergröfserung $v_w = (1 + 0{,}00366\ t)\ v$ der Raummenge des Windes durch Erhitzung gebührend zu berücksichtigen; doch gibt man den Heifswindröhren gern einen verhältnismäfsig engen Durchmesser, damit nicht die Bewegung des heifsen Windes allzusehr verlangsamt und dadurch Gelegenheit zu Wärmeverlusten gegeben werde.

Auch durch Umhüllung oder Auskleidung mit schlechten Wärmeleitern mufs die Heifswindleitung in jedem Falle vor starken Windverlusten geschützt werden. Windleitungen für Hochöfen mit eisernen Winderhitzern, in denen der Wind nicht über 500°, selten erheblich über 400° erhitzt wird, pflegt man aufsen mit schlechten Wärmeleitern in derselben Weise zu umhüllen, wie es bei Dampfleitungen üblich ist. Schlackenwolle, Lehm oder ähnliche Körper werden als Packung benutzt und äufserlich durch umgelegtes Blech, geteerte Pappe und dergleichen und umgewickelten Bindedraht festgehalten.

Röhren dagegen, durch welche der von steinernen Winderhitzern kommende, stärker erhitzte Wind fortgeleitet werden soll, werden, um nicht durch die Einwirkung der Hitze und des Sauerstoffs zerstört zu werden, im Innern mit einer dicken Lage feuerfesten Baustoffs ausgekleidet. Man gibt der Auskleidung eine

Stärke von 300 bis 350 mm und benutzt dazu gewöhnliche Schamotteziegel oder auch Ziegel, welche durch Vermischen mit Koksklein gefertigt sind. Sie sind schlechte Wärmeleiter und besitzen geringeres Gewicht. In Abb. 182 ist diese Auskleidung des Heifswindrohrs *e* erkennbar.

Rücksicht ist bei längeren Leitungen auch auf den Umstand zu nehmen, dafs die Röhren für den heifsen Wind bei der Erhitzung sich ausdehnen, ihre Länge vergröfsern, und bei eintretender Erkaltung sich wieder zusammenziehen. Für je 100° C. beträgt die Längenausdehnung des Eisens 0,00111; eine Leitung von 10 m Länge verlängert sich demnach bei der Erhitzung auf 400° um 45 mm. Zur Verhütung von Brüchen müssen Vorkehrungen getroffen werden, um der Leitung eine gewisse Beweglichkeit zu sichern.

Solche in die Leitung eingeschaltete, eine Verlängerung und Verkürzung ermöglichende Vorrichtungen heifsen Kompensatoren.

Die üblichste Einrichtung eines Kompensators zeigt die Abb. 194 (Scheibenkompensator). An den Leitungsröhren sind zwei kreisrunde Scheiben von grofsem Durchmesser aus Eisenblech von 2 bis 3 mm Stärke befestigt und an ihrem äufseren Rande luftdicht vernietet. Dehnt sich die Leitung aus, so werden die beiden Scheiben zusammengedrückt, um beim Erkalten ihre ursprüngliche Stellung wieder einzunehmen. Bei dem Winderhitzer Abb. 182 ist in dem Heifswindleitungsrohre *e* links neben dem Schieber ein solcher Kompensator angebracht.

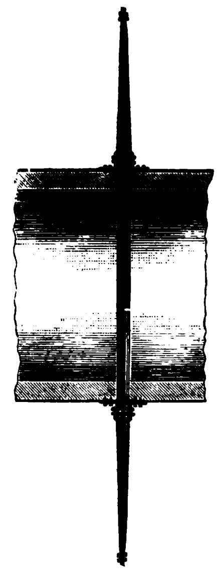


Abb. 194.

Eine andere Gattung dieser Vorrichtungen nennt man Stopfbuchsenkompensatoren. Das Ende des einen Rohres ist abgedreht und schiebt sich in das mit Stopfbuchse versehene Ende des anderen. Als Packung für die Stopfbuchse dient Asbest, da der sonst übliche Hanf in der Temperatur des erhitzten Windes verkohlt werden würde. Sie sind nur für Leitungen von kleinerem Durchmesser (50 cm und darunter) üblich.

So viel, als irgend tunlich, sucht man indes die Zahl der erforderlichen Kompensatoren durch Abkürzung der Leitungen für den heifsen Wind einzuschränken.

Ein ringförmig um den Hochofen herumlaufendes Verteilungsrohr nimmt schliefslich den Wind auf, um ihn durch Zweigröhren den einzelnen Formen des Hochofens zuzuführen. Früher, solange man die Hochöfen mit Rauhgemäuer baute, legte man das Verteilungsrohr vertieft in einen gemauerten Kanal und liefs von hier den Wind aufsteigen (Abb. 125, 126); bei den jetzigen Hochöfen, deren Schacht von Säulen getragen wird, legt man das Verteilungsrohr rings um die Rast herum und führt den Wind von hier abwärts. Die Anordnung wird dadurch übersichtlicher und leichter zugänglich. Gewöhnlich läfst man das Rohr auf Kragstücken ruhen,

welche an den zum Tragen des Schachts bestimmten Säulen angegossen oder angeschraubt sind. Verschiedene der früher gegebenen Abbildungen von Hochöfen lassen diese Einrichtung erkennen (Abb. 128, 131, 132, 133). Da das Rohr bei der Erhitzung seinen Durchmesser vergröſsert, ist auch hier eine gewisse Beweglichkeit notwendig, damit nicht etwa ein nachteiliger Schub auf die Säulen ausgeübt werde. Bei dem Hochofen Abb. 120 ist dieser Zweck erreicht, indem man das Rohr in Lagern ruhen läſst, die von eisernen, als Rollen wirkenden Rundstäben getragen werden.

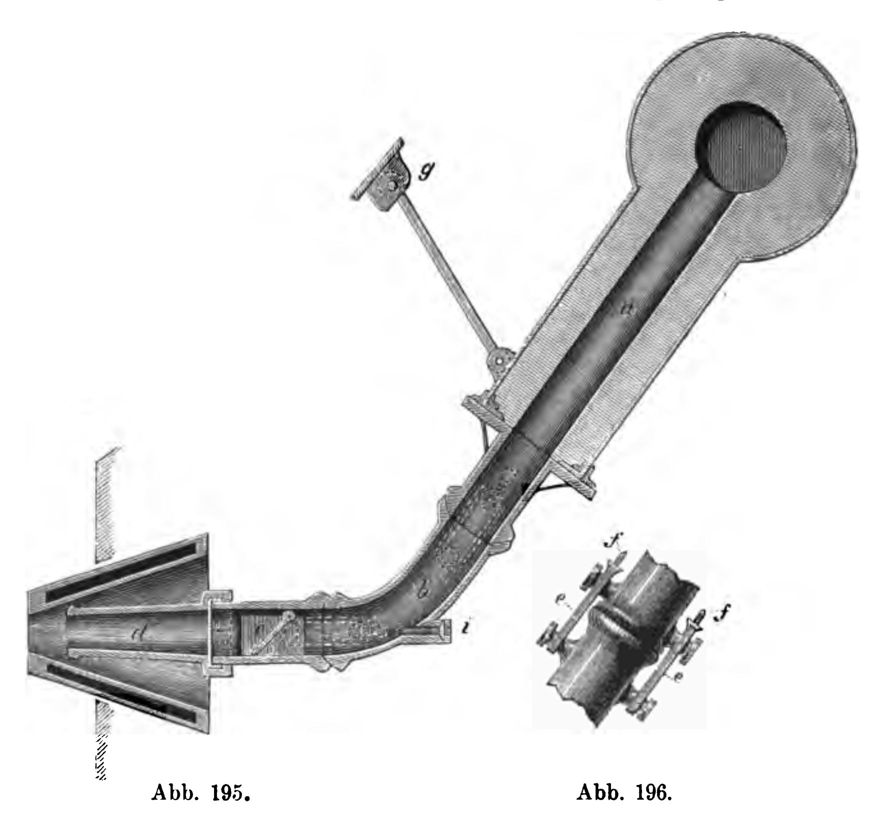


Abb. 195. Abb. 196.

Aus dem Verteilungsrohre gelangt der Wind durch den Düsenstock oder Düsenständer zur Düse, d. h. zu dem Endstücke der Leitung, aus welchem er in den Ofen eintritt.

Der Düsenstock besteht aus einer gegen die Düse zu wagerechten Windleitung, welche durch ein Knie mit dem Verteilungsrohre verbunden ist.

Damit aber die Düse ohne Schwierigkeit eingesetzt und ausgewechselt, damit ihre Lage genau geregelt werden könne, läſst man den Düsenständer aus mehreren Teilen bestehen, welche eine gewisse Verstellung untereinander gestatten.

Auſserdem ist es gebräuchlich, in jedem Düsenstocke eine Ab-

sperrvorrichtung für den Wind anzubringen, teils um erforderlichenfalls ohne weitere Umstände die eine oder andere Düse aufser Tätigkeit setzen zu können, aufserdem auch, um durch Schliefsen der Vorrichtung beim Stillstande des Gebläses das Zurücktreten von Kohlenoxydgas in den Düsenständer und die dadurch veranlafste Bildung von Knallgas zu verhüten. Der Umstand, dafs der Düsenständer mit erhitzter Luft angefüllt ist, die bei längerem Stillstande sich abkühlt und ihren Rauminhalt dabei verringert, kann die Veranlassung zum Ansaugen von Gas aus dem Hochofen geben.

Ein Schieber oder eine Drosselklappe kann hierzu dienen. Mitunter bringt man auch zur gröfseren Sicherheit einen selbsttätig wirkenden Verschlufs in der Nähe der Düse an, welcher durch den Winddruck geöffnet wird, und zufällt, sobald der Windstrom aufhört. In anderen Fällen begnügt man sich, die Düse während des Stillstandes zurückzuziehen, oder man ermöglicht durch Öffnen eines im Düsenständer angebrachten Verschlusses den Zutritt der äufseren Luft, wodurch das Ansaugen von Gas verhindert wird.

Je strengflüssiger die Schlacke, je niedriger die Temperatur im Hochofen und je enger das Gestell ist, desto häufiger tritt die Notwendigkeit ein, Ansätze, die sich an den kälteren Formen gebildet hatten, zu entfernen, indem man einen Haken durch die Formöffnung in den Ofen führt, nachdem die Düse zurückgezogen worden ist. Hieraus erklärt es sich, dafs man, wo jene Verhältnisse eine häufige Reinigung der Formen notwendig machen, also insbesondere bei älteren Holzkohlenhochöfen, welche mit nur mäfsig erwärmtem Winde und in engen Gestellen graues Roheisen darstellen, oft eine recht vielgliedrige Anordnung der Düsenständer findet, dem Zwecke entsprechend, die Düsen vor- und rückwärts bewegen zu können, auch ohne dafs eine Abstellung des Windes notwendig wird. Je stärker man den Wind erhitzen lernte, und je mehr man durch Anwendung hocherhitzten Windes die Gefahr der Entstehung jener Ansätze beseitigte, desto einfacher ist die Einrichtung der Düsenständer geworden.

Ein Düsenständer mit selbsttätig wirkender Verschlufsklappe, in den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts zur Anwendung gebracht, ist in Abb. 195 und 196 dargestellt. Aufser der Düse *d* besteht er nur aus drei Stücken, dem wagerechten Rohre *c*, dem Krümmer *b* und dem von dem Verteilungsrohre abgezweigten Rohre *a*. *b* ist an *a* und *c* ist an *b* durch einfach eingerichtete Kugelgelenke angeschlossen. Zur Herstellung der Verbindung werden die Schmiedeeisenbänder *ee* über die an die Rohrstücke angegossenen Zapfen übergeschoben und durch Schrauben *ff* fest angezogen; auf diese Weise läfst sich in wenigen Sekunden die Verbindung lösen und wiederherstellen, wenn eine veränderte Lage der Düse notwendig werden sollte. Auch ein Keil, welcher durch Öffnungen des Bügels hindurchgeht, ist statt der Schraube benutzbar.

In dem Rohrstücke *c* ist die erwähnte Klappe angebracht. Da ihr Drehungspunkt oberhalb des Rohrmittels liegt, mufs das Rohr an dieser Stelle vierseitigen Querschnitt erhalten, damit die Drehung der Klappe möglich werde. Der Deckel des Klappengehäuses *c* ist

mit Durchbrechungen versehen; solange der Wind durch den Düsenständer hindurchgeht und die Klappe geöffnet erhält, schliefst diese die Durchbrechungen, so dafs kein Wind austreten kann; ist der Wind abgestellt und die Klappe zugefallen, so tritt von aufsen Luft ein, sobald Verdichtung im Innern stattfindet, und ein Zurücktreten von Gasen findet nicht statt[1]). Bei *c* befindet sich eine durch eine Glimmerplatte verschlossene Schauöffnung, welche die Beobachtung der Vorgänge vor der Form ermöglicht, ohne dafs die Düse zurückgezogen zu werden braucht. Bei *g* ist der Düsenständer an dem Tragkranze für den Schacht aufgehängt.

Einen Düsenständer aus neuerer Zeit, zu dem unter Abb. 132 abgebildeten Hochofen gehörend, zeigt die Abb. 197. An das rings um den Ofen herumlaufende Verteilungsrohr ist mit Hilfe eines Kugelgelenks, welches die Bewegung nach verschiedenen Richtungen hin ermöglicht, das mit feuerfester Masse ausgekleidete senkrechte Rohr angeschlossen, mit welchem das mit einer Drosselklappe versehene wagerechte Düsenrohr *a* fest verbunden ist. Über das ausgehende Ende des letzteren ist die Düse *b* übergeschoben. Eine mit Glimmerplatte versehene Schauöffnung ist am hinteren linken Ende des wagerechten Rohrs erkennbar. Das in halber Rasthöhe um den Ofen herumgeführte Rohr *c* dient zum Zuleiten und zur Verteilung des Kühlwassers nach den Formen und Kühlkästen, die Rinne *d* zur Aufnahme und zur Fortleitung des verbrauchten Kühlwassers. Die um die Rast herumgeführte Rinne *e* hat den Zweck, das bei etwaiger Berieselung der Rast abfliefsende Kühlwasser aufzunehmen.

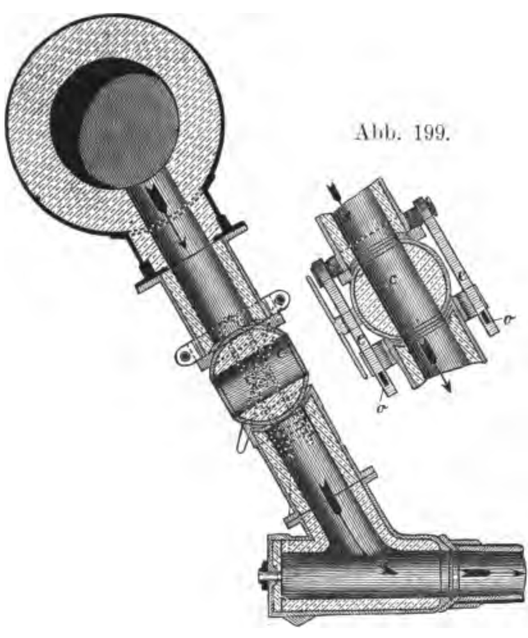

Abb. 199.

Abb. 198.

Statt der Drosselklappen oder Schieber in den Düsenständern, welche mitunter versagen können, sind durch Boecker Hahnverschlüsse eingeführt und auf mehreren Werken zur Anwendung gebracht worden. Die Abb. 198 und 199 zeigen ihre Einrichtung.

[1]) A. v. Kerpely, Bericht über die Fortschritte der Eisenhüttentechnik im Jahre 1878, Seite 143; Polyt. Review, Band 5, Seite 181; Dinglers polyt. Journal, Band 230, S. 131.

Der innen mit feuerfestem Ton ausgekleidete kugelförmige Hahn *c* dreht sich in Kugellagern, welche an den beiden einander zugekehrten Rohrenden des Düsenständers angebracht sind. Die Drehung wird mit Hilfe eines über den Zapfen des Hahnes gesteckten Schlüssels bewirkt; in der jedesmal gewünschten Stellung wird er durch Zusammenpressen der Kugellager festgehalten, was durch Anziehen der Keile *oo* in den Bügeln *ee* vermittelt wird. Soll Drehung stattfinden, so werden die Keile gelockert. Abb. 198 zeigt die Hahnstellung bei Absperrung, Abb. 199 bei Zulafs des Windes [1]).

Die Düse besteht in allen Fällen aus einer schwach konischen Hülse aus Gufseisen, seltener aus Eisenblech, welche über das Ende des Düsenständers übergeschoben wird und sich leicht auswechseln lassen mufs. Mitunter befestigt man sie, wie in Abb. 195 durch Punkte angedeutet ist, durch einen Bajonettverschlufs, so dafs eine einfache Drehung genügt, sie zu lösen; häufiger schiebt man sie ohne sonstige Befestigungsvorrichtung über das Rohrende. Die Seitenkonvergenz der Düse soll etwa 6 Grad betragen, weil bei dieser Form sich der günstigste Ausflufskoeffizient ergibt.

Von dem Querschnitte der Düsenöffnung ist bei gegebener Windpressung die ausgeblasene Windmenge und bei gegebener Windmenge die erforderliche Pressung abhängig. Bei den kleinsten Holzkohlenhochöfen beträgt der Durchmesser dieser Öffnung mitunter nicht über 25 mm, bei grofsen Hochöfen bisweilen 200 mm oder noch etwas darüber. Dafs der Durchmesser des Formauges nur wenig gröfser als der Durchmesser der Düse sei, wurde schon früher erwähnt.

In früherer Zeit beim Betriebe mit kaltem oder nur wenig erhitztem Winde blies man mit offener Form, d. h. man liefs, indem man die Düse nicht ganz bis zur Berührung mit der Formwand vorschob, einen ringförmigen Zwischenraum zwischen der Aufsenwand der Düse und der Innenwand der Form offen, durch welche man die Vorgänge vor den Formen besser als durch das Schauloch am Düsenständer allein beobachten konnte. Noch heute ist bei Holzkohlenhochöfen, die mit weniger heifsem Winde betrieben werden, dieses Verfahren in Anwendung. Wenn die Form und die Düse hierbei dieselbe Mittellinie haben, sind Windverluste durch die offene Form nicht zu befürchten; wohl aber wird durch den sich rasch fortbewegenden Windstrahl, zumal wenn der Durchmesser des Formauges etwas reichlich bemessen ist, kalte Luft von aufsenher angesaugt und mit in den Ofen geführt, somit der Zweck der Winderhitzung teilweise vereitelt. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man leichte Körper, Papierschnitzel, Federn oder dergleichen, in die Nähe der offenen Form bringt; sie werden von dem Luftzuge nach der Form hin bewegt und in den Ofen geführt.

Mit je heifserem Winde man bläst, desto gröfser sind hierbei die Wärmeverluste, desto geringer ist aber auch die Gefahr, dafs vor den Formen erstarrte Ansätze sich bilden. Daher werden die mit steinernen Winderhitzern versehenen Hochöfen sämtlich mit

[1]) Sonstige Beispiele neuerer Düsenstöcke: Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1903, S. 660, 662, 814.

geschlossener Form betrieben, und man verfolgt die Vorgänge im Ofen durch das erwähnte Schauloch im Knie des Düsenständers.

Der Zweck, die Form zu schliefsen, läfst sich in mehrfacher Weise erreichen. Bei dem Düsenständer Abb. 195 ist die Düse mit herumlaufendem Wulst versehen und wird so weit vorgeschoben, dafs dieser Wulst den Verschlufs bewirkt. Will man aus besonderen Gründen die Düse nicht so weit als hier vorschieben, so kann man statt des Wulstes eine Scheibe auf ihr befestigen, welche an einem weiter rückwärts gelegenen Teile der Form in diese hineinpafst; bei dem Düsenständer Abb. 197 bildet das kugelförmige Ende der Düse den Verschlufs.

6. Spannungs- und Temperaturmessungen; Windberechnung.

a) Manometer.

Zur Beaufsichtigung des Hochofenbetriebes sind tägliche öftere Beobachtungen der Windspannung (Pressung) innerhalb der Leitungsröhren erforderlich. Hängt doch von dieser Windspannung unter übrigens gleichen Verhältnissen die Menge des dem Hochofen zugeführten Windes ab; durch die Windmenge aber ist die Menge der in bestimmter Zeit verbrennenden Kohlen, somit auch der ganze Verlauf des Hochofenschmelzens und die Gröfse der Roheisenerzeugung des Hochofens bedingt.

Zum Messen der Windspannung bedient man sich des Manometers.

Im voraus möge jedoch bemerkt werden, dafs eine vollständig genaue Messung der durchschnittlichen Windspannung nicht möglich ist. Einesteils unterliegt bei jedem Zylindergebläse die Windspannung unausgesetzten Schwankungen, wie sich am Manometer selbst erkennen läfst. Andernteils herrscht an verschiedenen Stellen der Leitung auch eine verschiedene Spannung; sie nimmt unter der Wirkung der von dem Windstrome zu überwindenden Reibung um so mehr ab, je länger der bereits zurückgelegte Weg ist, und je gröfser und zahlreicher die Widerstände (Krümmungen, Querschnittsverengungen u. a. m.) innerhalb der Leitung sind. Bei Benutzung des Manometers zur Berechnung der Windmenge (siehe unten) mufs man es daher in unmittelbarer Nähe der Düse anbringen. Auch innerhalb eines und desselben Querschnitts der Leitung ist indes die Spannung nicht überall gleich; sie ist geringer in der Nähe der Röhrenwand, wo durch die Reibung Spannungsverluste (Abminderung der Bewegungsgeschwindigkeit) hervorgerufen werden, gröfser in der Mitte des Querschnitts. Endlich kommt in Betracht, dafs durch das in die Leitung eingesenkte Manometerrohr leicht Stauungen, Wirbel in dem Windstrome hervorgebracht werden, welche ebenfalls die Richtigkeit der Messung beeinträchtigen.

Für die Windberechnung vermag daher das Manometer nur Annäherungswerte zu geben; für die regelmäfsige Beaufsichtigung des Hochofenbetriebes aber besitzen jene Ungenauigkeiten nur untergeordnete Bedeutung. Hierbei liegt nicht sowohl die Aufgabe vor, in bestimmten Ziffern die Geschwindigkeit oder Menge des

eingeblasenen Windes anzugeben, als vielmehr, allgemein zu prüfen, ob der Hochofen eine gewisse, durch Erfahrung ermittelte regelrechte Windmenge erhalte, die durch einen bestimmten Stand des Manometers angezeigt wird, oder in anderen Fällen diese Windmenge aus besonderen Gründen zu vergröfsern oder zu verringern. Für eine derartige allgemeinere Überwachung aber bildet das Manometer ein sehr einfaches, auch dem ungebildetsten Arbeiter leicht verständliches Hilfsmittel.

Sofern das Manometer nur für den hier erwähnten Zweck benutzt werden soll, befestigt man dessen Rohr so an der Windleitung, dafs es rechtwinklig gegen dessen Achse gerichtet ist, und dafs seine Kante mit der Innenwand des Rohrs abschneidet. Man mifst hierbei nur denjenigen Druck, den der Wind gegen die Rohrwand ausübt. Für genauere Messungen — z. B. für die Berechnung der Windmenge — würde es sich empfehlen, das Manometerrohr an seinem Ende rechtwinklig umzubiegen, es bis zur Mitte des Windleitungsrohres einzuführen und hier so zu stellen, dafs es der Windrichtung parallel und dem Strome entgegengerichtet ist. Durch Ausziehen des dem Winde zugekehrten Endes zu einer Spitze, über deren konische Seiten der Wind hingleiten kann, würde sich die durch die Stauung des Windes entstehende Unrichtigkeit abmindern lassen [1]). Dafs aber auch bei dieser Stellung des Manometers nur die Spannung an der betreffenden Stelle, nicht die mittlere Spannung innerhalb des ganzen Querschnitts gemessen wird, wurde schon erwähnt.

Dafs übrigens das Manometer unmittelbar auf der Windleitung angebracht werde, ist keineswegs erforderlich. Meistens ist es bequemer, es an einer geschützten Stelle der Wand, wo es leicht sichtbar ist, zu befestigen und durch eine Leitung aus schmiedeeisernen Röhren mit der Windleitung zu verbinden. Pressungsverluste innerhalb dieses Rohres können nicht eintreten, da eine Bewegung des Windes darin nicht stattfindet.

Häufig ordnet man zwei Manometer an verschiedenen Stellen der Windleitung an; das eine in der Gebläsestube im Anschlusse an die Leitung für den kalten Wind, ein zweites am Düsenständer. Der Unterschied in der von beiden Manometern angegebenen Spannung ergibt den Spannungsverlust in der Leitung.

Sofern man das Manometer nur für die allgemeine Beaufsichtigung des Ganges des Gebläses benutzen will, begnügt man sich auch wohl mit dem einen Manometer für den kalten Wind, dessen Herstellung einfacher ist; man verliert aber dadurch auch jede Beurteilung für den Betrag der Spannungsverluste, welcher für die Ausnutzung der vom Gebläse geleisteten Arbeit von Einflufs ist.

Für die Kaltwindleitung kann man ein Quecksilbermanometer benutzen, bestehend aus einem U-förmig gebogenen, teilweise mit Quecksilber gefüllten Rohre, dessen einer Schenkel mit der Windleitung verbunden ist. Die Höhe, welche die Oberkante

[1]) C Schinz, Studien über den Hochofen zur Darstellung von Roheisen, S. 83.

der Quecksilbersäule in beiden Schenkeln einnimmt, solange kein Winddruck herrscht, bildet den Nullpunkt; der Unterschied in dem Höhenstande in den beiden Schenkeln, sobald auf das eine Ende der gepresste Wind drückt, ergibt die Höhe der Quecksilbersäule, welche mit dem vorhandenen Winddrucke im Gleichgewichte steht. An dem offenen Schenkel bringt man eine Teilung an, von dem Nullpunkte beginnend; in Rücksicht auf den Umstand, dafs in dem zweiten Schenkel das Quecksilber ebenso tief unter als in dem ersten über dem Nullpunkte steht, mufs man, um die wirkliche Spannung zu finden, die abgelesene Höhe über dem Nullpunkte verdoppeln, oder man wählt von vornherein eine solche Teilung, dafs man ohne weiteres den wirklichen Höhenunterschied abliest [1]).

Will man die Windpressung nicht nach der Höhe der Quecksilbersäule, sondern in Kilogrammen auf ein Quadratzentimeter Querschnitt angeben, so läfst sich die Teilung leicht danach ändern. Bei dem spezifischen Gewichte des Quecksilbers = 13,595 übt eine Quecksilbersäule von 735 mm Höhe einen Druck von 1 kg auf 1 qcm aus, und durch Einteilung dieser Höhe in Hundertstel lassen sich Ablesungen auch in engen Grenzen bewirken.



Abb. 200.

Häufiger als Quecksilbermanometer, zumal zur Ermittlung der Spannung erhitzten Windes, sind Federmanometer in Benutzung, welche nach denselben Grundsätzen wie die Manometer zur Ermittlung der Dampfspannung bei Dampfkesselanlagen eingerichtet sind. Abb. 200, ein Federmanometer aus der Fabrik von Schäffer & Budenberg in Buckau darstellend, zeigt die innere Einrichtung. Die in dem unteren Teile angebrachte gewellte Plattenfeder wird unter der Spannung des Windes emporgedrückt, wirkt dabei durch Vermittlung der auf ihr befestigten Stange auf einen kleinen Winkelhebel, der hierbei eine entsprechende Drehung ausführt und diese durch ein Getriebepaar auf den aufserhalb der Skala angebrachten Zeiger überträgt.

Da durch anhaltende starke Erhitzung die Feder bald leiden würde, empfiehlt es sich, das Zweigrohr, auf dessen Ende das Manometer befestigt ist, ausreichend lang zu machen, so dafs die eingeschlossene Luft kühl bleibt. Eine Beeinträchtigung der Richtigkeit in den Angaben des Manometers wird durch die Abkühlung nicht herbeigeführt, da ja die in dem Zweigrohre befindliche Luft, sie mag kalt oder warm sein, demselben Drucke ausgesetzt bleibt, welcher im Leitungsrohre herrscht.

[1]) Ist die Teilung z. B. nach Millimetern bewirkt, so würden 5 mm Höhenabstand über dem Nullpunkte 10 mm wirkliche Quecksilberhöhe angeben und demnach mit 10 statt 5 zu berechnen sein u. s. f.

b) Pyrometer.

Nicht minder wichtig als die Messung der Windspannung ist für die Leitung des Hochofenbetriebes die öftere Messung der Windtemperatur, durch deren Schwankungen Änderungen im Verlaufe des Hochofenschmelzens herbeigeführt werden können.

Verschiedene Vorrichtungen sind hierfür in Benutzung.

Mitunter bedient man sich eines Kalorimeters, gewöhnlich Siemens-Pyrometer genannt, obgleich Siemens nicht als Erfinder gelten kann. Eine Kugel aus Eisen, besser aus Platin, wird der Einwirkung des heifsen Windes ausgesetzt, bis sie dessen Temperatur angenommen hat, dann in das mit Wasser gefüllte Kalorimeter geworfen. Besondere Vorrichtungen verhindern die Wärmeverluste durch Abgabe nach aufsen und ermöglichen eine rasche Wärmeausgleichung. Sobald diese stattgefunden hat, wird mit Hilfe eines in Zehntelgrade geteilten Thermometers die Temperaturzunahme ermittelt; aus dieser, dem Gewichte des Wassers und der spezifischen Wärme der Metallkugel berechnet man die Temperatur der letzteren vor dem Einwerfen in das Wasser und somit auch die Temperatur des erhitzten Windes. Durch G. Braubach ist diesem Pyrometer eine bequeme Einrichtung gegeben, welche es ermöglicht, die Temperatur ohne Anstellung einer Rechnung sofort abzulesen[1]).

Häufig findet auch das zwar kostspieligere, aber in seiner Anwendung noch bequemere elektrische Pyrometer von Le Chatelier oder Le Chatelier-Heräus Anwendung[2]). Ein Thermoelement, bestehend aus einem Platindrahte mit einem Rhodium-Platindrahte, wird durch den heifsen Wind erhitzt, wodurch ein galvanischer Strom erzeugt wird, der durch ein Galvanometer geführt wird. Durch frühere Versuche ist ermittelt worden, welchen Temperaturen eine bestimmte Ablenkung der Nadel des Galvanometers entspricht. Das erwähnte Thermoelement kann, zumal wenn es durch eine Umhüllung von Porzellan oder Asbest geschützt ist, stetig an seiner Stelle bleiben, so dafs man in jedem Augenblicke die Temperatur ablesen kann, ohne besonderer Vorarbeiten zu bedürfen. Mitunter hat man ein besonderes Beobachtungshäuschen in der Nähe des Hochofens angelegt, nach welchem sowohl die Leitung für das Pyrometer als das Windrohr für das Manometer geführt ist. Auch mit einer Vorrichtung, welche selbsttätig unausgesetzt die Temperaturschwankungen verzeichnet, hat man dieses Pyrometer in Verbindung gebracht[3]).

Luftpyrometer, z. B. ein von Wiborgh erfundenes[4]), sind vereinzelt in Anwendung gekommen, haben sich aber ihrer Zerbrechlichkeit halber nicht sehr bewährt. Metallpyrometer, auf der abweichenden Ausdehnung zweier Stäbe aus verschiedenen

---

[1]) Das Braubachsche Pyrometer ist beschrieben in „Stahl und Eisen“ 1896, S. 207; käuflich bei C. Gerhardt, Marquarts Lager, in Bonn a. Rh. Vergleiche auch „Stahl und Eisen“ 1896, S. 572.

[2]) Bezugsquelle: W. C. Heräus in Hanau.

[3]) Näheres hierüber: Génie civil, Band X, S. 291; The Journal of the Iron and Steel Institute 1891 I, S. 90; 1892 II, S. 33; 1893 I S. 112; II S. 252.

[4]) „Stahl und Eisen“ 1888, S. 699; 1891, S. 613.

Metallen beruhend, wurden früher ziemlich häufig benutzt, sind aber unzuverlässig [1]).

c) Die Windberechnung.

Um ein möglichst deutliches Bild aller bei dem Betriebe eines Hochofens maſsgebenden Verhältnisse zu erhalten, kann der Eisenhüttenmann mitunter in die Lage kommen, die Menge des dem Hochofen in bestimmten Zeiträumen (gewöhnlich in der Minute) zugeführten Windes ermitteln zu müssen.

Zur Lösung dieser Aufgabe gibt es verschiedene Wege.

Ein einfaches Verfahren, welches allerdings nur Annäherungswerte innerhalb ziemlich weiter Grenzen liefert, beruht auf dem Kohlenstoffverbrauche des Hochofens innerhalb der bestimmten Zeit.

Aller Kohlenstoff, welcher vor die Formen des Hochofens gelangt, wird hier durch den Sauerstoff des eingeblasenen Windes zu Kohlenoxyd verbrannt. Da das Verhältnis zwischen dem Sauerstoffgehalte der Gebläseluft zu ihrer Gesamtmenge bekannt ist, würde man, sofern aller dem Hochofen durch die Gicht zugeführte Kohlenstoff auch bis vor die Formen gelangte, mit Leichtigkeit imstande sein, auf Grund jenes Verhältnisses die Menge der zugeführten Luft zu berechnen. Wenn A den in Kilogrammen ausgedrückten Brennstoffverbrauch des Hochofens in 24 Stunden, p den Kohlenstoffgehalt von 1 kg des benutzten Brennstoffs, Q den Windverbrauch in der Minute bezeichnet, so wäre

$$Q = \frac{A\,p}{320} \text{ Kubikmeter.}$$

Ein Teil des Kohlenstoffs aber wird in jedem Hochofen zur unmittelbaren Reduktion der Erze verbraucht, ohne vor die Formen zu gelangen; ein anderer wird durch das Eisen aufgenommen und von diesem wieder aus dem Ofen geführt. Der wirkliche Windverbrauch ist also geringer, und man hat, um einen Annäherungswert zu erhalten, die obige Ziffer mit einer Verhältniszahl zu multiplizieren, welche bei den meisten Hochöfen zwischen 0,75—0,90 schwankt und durchschnittlich um so niedriger ausfällt, je schwieriger reduzierbar die Erze sind.

Ein anderes, nicht minder einfaches, aber ebenfalls nur Annäherungswerte lieferndes Verfahren stützt sich auf die Gröſse der Kolbenfläche und der Kolbengeschwindigkeit des Gebläses in der Minute. Sofern das Gebläse stets die volle, seinem Querschnitte entsprechende Windmenge ansaugte und keine Windverluste stattfänden, würde offenbar die gelieferte Windmenge sich ergeben aus der Kolbenfläche mal der Kolbengeschwindigkeit; wegen des vorhandenen schädlichen Raumes sowie der Unvollständigkeit der Wirkung der Verschluſsklappen oder Ventile saugen aber die

---

[1]) Einen Bericht über vergleichende Versuche hinsichtlich der Verwendbarkeit verschiedener hier nicht genannter Pyrometer findet der Leser in „Stahl und Eisen“ 1892, S. 893 (Blaſs); auch S. 604 und 606 desselben Jahrganges. Vergleiche auch die unter Literatur genannten Abhandlungen.

Zylindergebläse niemals die volle, dem Inhalte der Zylinder entsprechende Windmenge an, und ein Teil des angesaugten Windes geht auf dem Wege nach dem Hochofen wieder verloren. Im Mittel darf man die Nutzleistung des Gebläses samt Windleitung nicht höher als 0,7 annehmen; beträgt also Q die Windmenge, welche der Hochofen in der Minute erhält, F die Kolbenfläche der zu einander gehörigen Gebläsezylinder in Quadratmetern, G die Geschwindigkeit der Gebläsekolben in der Minute in Metern, so ist

$$Q = 0{,}7\ F.\ G.$$

Bei mangelhaft ausgeführten oder im Stande erhaltenen Gebläsen oder Windleitungen kann allerdings Q erheblich niedriger ausfallen.

Ist die Geschwindigkeit des aus der Düse ausströmenden Windes und der Düsenquerschnitt bekannt, so ist das Ergebnis beider, multipliziert mit einer durch Erfahrung ermittelten Verhältniszahl für den Ausflufs die ausströmende Windmenge von der im Ausflufsquerschnitte herrschenden Spannung und Temperatur, und durch entsprechende Umrechnung läfst sich aus dieser die Luftmenge von Null Grad Temperatur und gewöhnlicher Spannung (760 mm Barometerstand) berechnen. Die Geschwindigkeit der austretenden Luft ergibt sich aus der durch das Manometer gemessenen Windspannung.

Bezeichnet Q die aus einer Düse austretende Windmenge in Kubikmetern in der Minute, umgerechnet auf den angegebenen Barometerstand und Null Grad Temperatur, h_1 die am Manometer abgelesene Windspannung, ausgedrückt durch die Höhe einer Quecksilbersäule in Metern, h_2 die im Ofen vor den Formen herrschende Spannung, ebenso wie h_1 gemessen, d den Durchmesser der Düse in Metern, f eine Verhältnisziffer, welche von der Temperatur des Windes (t_1) und dem Barometerstande b abhängig ist, λ eine Verhältnisziffer, welche wegen des Umstandes notwendig wird, dafs die Luft bei höheren Windspannungen auch ihre Temperatur ändert (bei geringeren Pressungen kann $\lambda = 1$ gesetzt werden), so ist

$$Q = 18740\ f \lambda d^2 \sqrt{h_1 - h_2}\ \text{Kubikmeter.}$$

Für f gelten folgende Werte:

$b + h_2$ in Metern Quecksilber	bei einer Windtemperatur von 250 Grad Celsius	300	350	400	450	500	550
0,80	0,73	0,70	0,67	0,65	0,63	0,60	0,58
0,85	0,75	0,73	0,70	0,67	0,65	0,62	0,60
0,90	0,77	0,75	0,72	0,69	0,66	0,64	0,62
0,95	0,80	0,77	0,74	0,71	0,68	0,66	0,63
1,00	0,82	0,79	0,76	0,73	0,70	0,68	0,65
1,05	0,84	0,80	0,77	0,74	0,72	0,69	0,66
1,10	0,86	0,82	0,79	0,76	0,74	0,71	0,68
1,20	0,89	0,86	0,83	0,80	0,77	0,74	0,71
1,30	0,93	0,89	0,86	0,83	0,80	0,77	0,74

Für λ ist zu setzen:

$b + h_2$ in Metern Quecksilber	$h_1 - h_2$ in Metern Quecksilber				
	0,1	0,5	1,0	1,5	2
0,8	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92
1,0	1,00	0,98	0,97	0,95	0,94
1,3	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95

Ausführlichere Tabellen, welche auch im Sonderabdrucke erschienen sind, enthält das Buch: J. v. Hauer, Die Hüttenwesensmaschinen, 2. Aufl., S. 509.

Die Berechnung mit Hilfe der mitgeteilten Formel und der erwähnten Tabellen würde ziemlich genaue Ergebnisse liefern, wenn es möglich wäre, die durchschnittlich richtigen Werte für h_1 und h_2, d. h. für die Windspannung in der Düse und die Gasspannung im Ofen, zu ermitteln. Die Gründe, weshalb h_1 nur mit annähernder Richtigkeit gemessen werden kann, wurden schon oben erörtert; noch gröfser ist die Schwierigkeit, für h_2 einen richtigen Wert zu finden. Eine Messung mit Hilfe eines in den Ofen geschobenen Rohres, an dessen äufserem Ende das Manometer befestigt ist, liefert zweifelhafte Ergebnisse, da die Gasspannung in einem und demselben Querschnitte des Gestells jedenfalls noch gröfsere Abweichungen zeigt als in der Windleitung; ein von Rittinger vorgeschlagenes Verfahren, den Wind aus derselben Düse, welche ihn zuerst in den Ofen führte, dann bei gleicher Anzahl Spiele des Gebläses in die freie Luft ausströmen zu lassen und die Spannung zu messen, um nunmehr ohne weiteres (da jetzt $h_2 =$ Null ist) die ausgeblasene Windmenge zu berechnen, würde doch, wenn sie richtig ausgeführt werden soll, wenigstens beim Hochofenbetriebe allzu erheblichen Schwierigkeiten begegnen[1]).

Ein letztes Verfahren der Windberechnung, welches allerdings nur ausnahmsweise angewendet werden kann, dann aber die zuverlässigsten Ergebnisse liefern dürfte, stützt sich auf den Umstand, dafs der Stickstoff der eingeblasenen Luft unverändert, ohne erheblich vermehrt oder verringert zu werden, in den Gichtgasen wiedergefunden wird. Ist also die Zusammensetzung der letzteren und ihre Menge innerhalb bestimmter Zeiträume bekannt, so läfst sich, da in der atmosphärischen Luft 79 Raumteile Stickstoff neben 21 Raumteilen Sauerstoff enthalten sind, mithin 100 Raumteile Stickstoff 126,5 Raumteilen atmosphärischer Luft entsprechen, die Menge der eingeblasenen Luft berechnen.

Die Zusammensetzung der Gichtgase wird durch chemische Untersuchung ermittelt; ihre Menge ergibt sich aus der Menge des Kohlenstoffs, welcher in bestimmten Zeiträumen teils aus dem

[1]) Vergl. C. Schinz, Studien über den Hochofen zur Darstellung von Roheisen, Augsburg 1871, S. 83.

Brennstoffe, teils aus den kohlensäurehaltigen Erzen und Zuschlägen dem Hochofen zugeführt wurde, nach Abzug der durch das Roheisen aufgenommenen kleinen Menge. Aller nicht vom Roheisen aufgenommene Kohlenstoff findet sich in den Gichtgasen wieder.

Es sei

k_1 der durch den Brennstoff,

k_2 der durch den Kalkstein und durch kohlensäurehaltige Erze dem Hochofen in der Minute zugeführte Kohlenstoff in Kilogrammen,

k_3 der Kohlenstoff, welchen das in einer Minute erzeugte Roheisen aufgenommen hat, ebenfalls in Kilogrammen,

so entweichen aus der Gicht in der Minute $k_1 + k_2 - k_3$ kg Kohlenstoff. Dieser Kohlenstoff tritt gewöhnlich in drei verschiedenen Verbindungen in den Gichtgasen auf; im Kohlendioxyd, Kohlenoxyd und dem Kohlenwasserstoff. Kohlendioxyd enthält 0,2727 seines eigenen Gewichtes Kohlenstoff; Kohlenoxyd 0,4286; leichtes Kohlenwasserstoffgas 0,75. Aus der Zusammensetzung der Gichtgase ergibt sich also leicht die Menge des Kohlenstoffs, welche überhaupt aus der Gicht entführt wird; und da die Gesamtmenge des in der Minute entweichenden Kohlenstoffs nach obigem $= k_1 + k_2 - k_3$ ist, läfst sich auch die Menge der in der Minute ausströmenden Gase ermitteln. Aus dem Verhältnisse des Stickstoffs zu der Gesamtmenge der Gichtgase ergibt sich dann der gesamte in der Minute ausströmende Stickstoffgehalt und aus diesem die Menge der eingeblasenen Luft.

Ein von Stöckmann[1]) gegebenes, dem Betriebe entnommenes Beispiel möge als Erläuterung hierfür dienen.

Bei einem früheren Hochofen des Eisenwerkes Phönix bei Ruhrort betrug die Zusammensetzung der Gichtgase:

Stickstoff	55,76	Raumteile oder	54,79	Gewichtsteile
Kohlendioxyd	9,99	„ „	15,42	„
Kohlenoxyd	24,88	„ „	24,45	„
Kohlenwasserstoff CH_4 .	0,40	„ „	0,22	„
Wasserstoff	0,97	„ „	0,07	„
Wasserdampf	8,00	„ „	5,05	„
	100,00	Raumteile oder	100,00	Gewichtsteile.

Mithin enthalten die Gase Kohlenstoff:

im Kohlendioxyd	$15{,}42 \cdot 0{,}2727 =$	4,21	Gewichtsteile
im Kohlenoxyd	$24{,}45 \cdot 0{,}4286 =$	10,48	„
im Kohlenwasserstoff . .	$0{,}22 \cdot 0{,}75 =$	0,17	„
	Zusammen	14,86	Gewichtsteile,

und 1 kg des in den Gichtgasen enthaltenen Kohlenstoffs verteilt sich folgendermafsen auf die Bestandteile der Gichtgase:

Kohlendioxyd	0,283 kg
Kohlenoxyd	0,705 kg
Kohlenwasserstoff	0,012 kg
	1,000 kg.

Bei einer täglichen Roheisenerzeugung des Hochofens von 40000 kg, einem Koksverbrauche von 1300 kg auf 1000 kg Roh-

[1]) C. Stöckmann, Die Gase des Hochofens und der Siemens-Generatoren, Ruhrort 1876, S. 35.

eisen und einem Kohlenstoffgehalte der Koks von 77 v. H. beträgt die durch den Brennstoff dem Hochofen in 24 Stunden zugeführte Kohlenstoffmenge 40 040 kg.

Die Erze sind frei von Kohlensäure. Der Kohlensäuregehalt des Kalksteines beträgt 43 v. H., also der Kohlenstoffgehalt 11,78 v. H.; der tägliche Verbrauch an Kalkstein beziffert sich auf 48 000 kg. Demnach ist die Menge des durch den Kalkstein dem Hochofen in 24 Stunden zugeführten Kohlenstoffs 5630 kg.

Das erzeugte Roheisen enthält 4 v. H. Kohle; mithin beträgt die Gesamtmenge des in 24 Stunden von dem Roheisen aufgenommenen Kohlenstoffs $40\,000 \cdot 0{,}04 = 1600$ kg.

In den Gichtgasen werden also in 24 Stunden $40\,040 + 5630 - 1600 = 44\,070$ kg Kohlenstoff aus dem Ofen geführt.

Der oben mitgeteilten Verteilung des Kohlenstoffs auf die einzelnen Gasarten gemäfs würde man berechnen können, wie viel Gesamtkohlenstoff in 24 Stunden auf jedes dieser Gase entfällt; es genügt indessen, die Ermittlung für eins der Gase anzustellen und dann aus dem Gehalte des letzteren in dem Gasgemische die Menge des letzteren zu berechnen.

So z. B. entfällt, da nach den obigen Ziffern von je 1 kg Gesamtkohlenstoff 0,705 kg im Kohlenoxyd auftreten, auf dieses letztere Gas eine Kohlenstoffmenge in 24 Stunden $= 44\,070 \cdot 0{,}705 = 31\,069$ kg.

Diese 31 069 kg Kohlenstoff sind enthalten in 72 494 kg Kohlenoxyd, welche, da 1 cbm Kohlenoxyd 1,25456 kg wiegt, einen Rauminhalt von 58 000 cbm einnehmen. Da nun die Gichtgase nach Mafsgabe der mitgeteilten Zusammensetzung 24,88 Raumteile Kohlenoxydgas in 100 Raumteilen enthalten, beträgt die gesamte in 24 Stunden der Gicht entströmende Gasmenge 233 120 cbm, oder

$$\text{in der Minute } \frac{233\,120}{24 \cdot 60} = 162 \text{ cbm.}$$

Diese 162 cbm Gas enthalten 55,76 v. H. oder 90 cbm Stickstoff, welche unverändert durch den Ofen hindurchgehen. 90 cbm aber entsprechen 114 cbm Luft, welche dem Hochofen durch das Gebläse in der Minute zugeführt wurden.

Der Kohlendioxydgehalt der atmosphärischen Luft kann seiner Geringfügigkeit halber bei dieser Rechnung vernachlässigt werden, ohne dafs das Ergebnis dadurch erheblich an Richtigkeit einbüfst.

Das Verhältnis der in der Minute gelieferten Windmenge zum Rauminhalte des Ofens pflegt 1,0 bis 1,4 zu betragen. Die erforderliche Arbeit der Betriebsmaschine zum Ansaugen, Fortführen und Verdichten des Windes hängt zwar in jedem einzelnen Falle von den besonderen Verhältnissen, insbesondere der Windspannung, ab und läfst sich nach den Formeln der Maschinenlehre aus Windspannung, Windmenge und Nutzleistung der Betriebsmaschine berechnen, beträgt aber nach v. Ihering durchschnittlich 6/7 Pferdestärke für je 1 cbm in der Minute angesaugten Windes[1]). Mit Hilfe

[1]) A. v. Ihering, Die Gebläse, S. 89.

dieser Verhältniszahlen läfst sich immerhin eine vorläufige Veranschlagung der für einen Hochofen von gegebenem Rauminhalte erforderlichen Windmenge und des erforderlichen Arbeitsverbrauchs anstellen.

Literatur.

a) Einzelne Werke.

Julius v. Hauer, Die Hüttenwesensmaschinen. Zweite Auflage. Leipzig 1876. S. 1—202. (Gebläse und Windleitung; zum Teil veraltet.)

L. Gruner, Abhandlungen über Metallurgie; übersetzt von Franz Kupelwieser. Paris 1877. Bd. 1, S. 317—333 (Gebläse), S. 346—366 (Windleitungen und Windberechnung), S. 368—421 (Winderhitzer). Teilweise veraltet.

J. Schlink, Über Gebläsemaschinen. Sonderabdruck aus Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen. Berlin 1880.

A. v. Ihering, Die Gebläse, 2. Auflage. Berlin 1903.

H. Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde, 2. Auflage. Braunschweig 1904 Band II, S. 1034 bis 1074 (Gebläse); Band III, S. 51 bis 168 (Winderhitzer, Windleitung, Windberechnung). Braunschweig 1906.

A. Riedler, Schnellbetrieb. Berlin 1899 (enthält Abbildungen und Beschreibungen neuerer Gebläse).

b) Abhandlungen.

Über Gebläse.

R. Volkmann, Zwillingsmaschine für die Hochöfen der Pennsylvania Steel Co. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1891, S. 457.

Eine amerikanische Normalgebläsemaschine für Hochofenbetrieb. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 465.

A. v. Ihering, Über die Konstruktionsverhältnisse der Gebläsemaschinen Rheinland-Westfalens, Oberschlesiens und Österreich-Ungarns. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 1022.

A. v. Ihering, Amerikanische Gebläsemaschinen. Jahrbuch der k. k. österreichischen Bergakademien. Bd. 42 (1894), S. 177.

Nockher, Stehende Verbund-Hochofen-Gebläsemaschine. „Stahl und Eisen“ 1987, S 132.

Hochofen-Gebläsemaschinen in Krompach. „Stahl und Eisen“ 1898, S. 929; auch Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1898, S. 1153.

F. Lamey, Hochofengebläsemaschine. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1899, S. 406.

A. Riedler, Neue Aufgaben des Kraftbetriebes in Hüttenwerken, insbesondere des Gebläsebaues. „Stahl und Eisen“ 1899, S. 761.

F. W. Lürmann, Neues Ventil für raschlaufende Gebläsemaschinen. „Stahl und Eisen“ 1899, S. 1052.

Hochofengasgebläse für Differdingen. „Stahl und Eisen“ 1900, S. 34.

Müller und F. Werndl, Verwendung der Hochofengase zum Betriebe von Gasmaschinen auf der Donnersmarckhütte und Friedenshütte. „Stahl und Eisen“ 1900 S. 413, 443.

Mitteilungen über die Versuche mit der ersten Hochofengas-Gebläsemaschine. „Stahl und Eisen“ 1900, S. 419.

A. Greiner, La première machine soufflante mue par les gaz des hauts-fourneaux. Revue universelle des mines, Reihe III (1900), Band 50, S. 150.

E. Meyer, Versuche an der 600pferdigen Gichtgasmaschine mit Gebläse in Seraing. „Stahl und Eisen“ 1900, S. 722

Reichardt, Verschiedene Konstruktionen von Grofsgasmotoren und ihr Verhalten im Betriebe. „Stahl und Eisen“ 1902, S. 1157, 1352.

E. Meyer, Über Grofsgasmaschinen. „Stahl und Eisen“ 1905, S. 67, 132.
Strack, Betriebserfahrungen mit Grofsgasmotoren. „Stahl und Eisen“ 1904, S. 1296.
Ehrhardt, Über das wirtschaftliche Verhältnis von Gichtgasmotoren und Dampfmaschinen im Verhüttungsgebiete der Minette. „Stahl und Eisen“ 1905, S. 638.

Über Gichtgas-Gebläsemaschinen vergleiche auch die Literatur zu Abschnitt II und VII.

Über Windtrocknung.

J. Gayley, The application of dry-air blast to the manufacture of iron. The Journal of the Iron and Steel Institute 1904 II, S. 274; 1905 I, S. 266; deutsch bearbeitet in „Stahl und Eisen“ 1904, S. 1290; 1905 S. 645.
C. von Linde, Trocknung des Gebläsewindes mittels Kühlmaschinen. „Stahl und Eisen“ 1905, S. 3.
B. Osann, Ist es vorteilhaft, den Gebläsewind zu trocknen? „Stahl und Eisen“ 1905, S. 73.
Trocknung des Gebläsewindes für Hochofenbetrieb. „Stahl und Eisen“ 1905, S. 152.
Mathesius, Windtrocknung und Turbogebläse. „Stahl und Eisen“ 1905, S. 267.

Über Winderhitzer und Windleitung.

Sexton, Über die Erfindung der Winderhitzung. „Stahl und Eisen“ 1895, S. 509.
E. Baur, Faber du Faur und die Verwendung der Gichtgase (Geschichtliche Mitteilungen über ältere Winderhitzer). „Stahl und Eisen“ 1904, S. 562.
L. Gruner, Notice sur les appareils à air chaud. Annales des mines, Reihe 7, Band 2, S. 305. (Beschreibung älterer Winderhitzer.)
Wiebner, Über die Wirksamkeit der neuen eisernen Winderhitzungsapparate auf Gleiwitzer Hütte. Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen im preufs. Staate 1882, S. 178.
F. W. Lürmann, Über Winderhitzungsapparate. Vortrag, gehalten in der Hauptversammlung des Vereins deutscher Eisenhüttenleute. „Stahl und Eisen“ 1883, S. 23.
F. W. Lürmann, Verschiedene Steinausfüllungen für Winderhitzer. „Stahl und Eisen“ 1884, S. 484.
F. W. Lürmann, Verbesserung an Cowper-Apparaten. „Stahl und Eisen“ 1889, S. 774.
F. W. Lürmann, Die Entwicklung der Ausmauerung steinerner Winderhitzer. „Stahl und Eisen“ 1890, S. 766.
F. W. Lürmann, Steinerne Winderhitzer. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 568; 1901, S. 785.
F. W. Lürmann, Steinformen für die Wärmespeicher steinerner Winderhitzer. „Stahl und Eisen“ 1896, S. 907.
C. Steffen, Beitrag zur Frage der Winderhitzungsapparate. „Stahl und Eisen“ 1883, S. 241.
E. A. Cowper, On recent improvements in Cowper-hot-blast-fire-brick-stoves. The Journal of the Iron and Steel Institute 1883, II, S. 575; daraus in „Stahl und Eisen“ 1883, S. 611.
H. Kennedys steinerner Winderhitzer. „Stahl und Eisen“ 1893, S. 186.
C. Th. Jung, Neuerungen im Hochofenbetriebe. „Stahl und Eisen“ 1897, S. 174.
F. Braune, Die Winderwärmung an den Hochöfen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1898, S. 1013.
Léon François, Neue Verbindungsart von Winderhitzern. „Stahl und Eisen“ 1898, S. 365; aus den Mémoires de l'Union des Ingénieurs de Louvain 1898.
Fr. Fröhlich, Winderhitzer. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1903, S. 925.

Kühlung der Heifswindschieber durch Gebläsewind. „Stahl und Eisen“ 1894, S 818, 836.
W. Colquhoun, On a new water-cooled hot-blast-valve. The Journal of the Iron and Steel Institute 1896 II, S. 203.
Verfahren zum Ausgleichen der Temperatur heifser Gase (bei Winderhitzern). „Stahl und Eisen“ 1899, S. 273.
The hot blast temperature equalizer. Iron Age vom 19. Mai 1904, S. 15.
B. H. Thwaite, On the effect of flue dust upon the thermal efficiency of hot-blast stoves. The Journal of the Iron and Steel Institute 1903 I, S. 246.
H. Dornbusch, Über Düsenvorrichtugen bei Hochöfen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Bd. 21, S. 103.
Über neuere Düsenstücke. Dinglers polyt. Journal, Bd. 264, S. 216.
Neuer Düsenstock von Lürmann. „Stahl und Eisen“ 1890, S. 692.

Über Temperaturmessungen und Windberechnung.

Elektrische Pyrometer. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 656.
C. Gaab, Über Pyrometer, insbesondere das Walther Dürrsche Pyrometer. „Stahl und Eisen“ 1894, S. 432.
F. W. Lürmann, Pyrometer. „Stahl und Eisen“ 1895, S. 333.
G. Braubach, Düsenkalorimeter. „Stahl und Eisen“ 1896, S. 572.
H. Wedding, Die Anwendung des Le Chatelier-Heräusschen Thermometers für das Eisenhüttenwesen. „Stahl und Eisen“ 1896, S. 660.
S. Wiborgh, Thermophon. Dinglers polyt. Journal, Bd. 301, S. 133.
Messung hoher Temperaturen. Dinglers polyt. Journal, Bd. 303, S. 39.
Pneumatisches Pyrometer von Uehling und Steinhart. „Stahl und Eisen“ 1899, S. 431.
Pyrometers suitable for metallurgical work. The Journal of the Iron and Steel Institute 1904 I, S. 98.
B. Osann, Berechnung der Zusammensetzung der Hochofengase, der in den Hochofen eingeführten Windmenge und der Windverluste. „Stahl und Eisen“ 1901, S. 905.

IV. Die Gichtaufzüge.

a) Erläuterungen.

Nur in seltenen Fällen ermöglicht es die Lage eines Hochofens, die mit Erzen, Zuschlägen oder Brennstoffen beladenen Karren ohne weiteres von einem entsprechend hochgelegenen Lagerplatze aus über eine Brücke nach der Gicht zu befördern. Häufiger ist man genötigt, eine mechanische Hebevorrichtung anzuordnen, mit deren Hilfe jene Karren oder sonstigen Gefäfse hinaufbefördert und nach bewirkter Entleerung wieder herabgelassen werden.

Diese Hebevorrichtung heifst der Gichtaufzug.

Zur Aufnahme der erwähnten Fördergefäfse dient bei den meisten Gichtaufzügen eine entsprechend grofse Plattform oder Förderschale, welche gehoben und gesenkt wird; mitunter wird jedoch das Fördergefäfs unmittelbar an ein Seil angeschlossen, welches es emporzieht und nach stattgehabter Entleerung wieder abwärts befördert. Ist der Aufzug so eingerichtet, dafs abwechselnd

nur Aufgang oder nur Niedergang stattfinden kann, so heifst er einfachwirkend; ist er mit zwei Förderschalen versehen, von denen die eine steigt, während die andere sinkt, so heifst er doppeltwirkend.

Die Bewegung erfolgt bei den meisten Gichtaufzügen in senkrechter Richtung. Die Förderschale bewegt sich dabei zwischen senkrechten Führungen, und das Ganze ist in einem aus schmiedeeisernen Gitterwerk hergestellten Fördergerüste angeordnet. Gemauerte Gichttürme, mit denen man früher den Aufzug umgab, sind nicht mehr üblich. Das Fördergerüst steht seitlich neben dem Hochofen und ist mit der Gichtbühne durch eine eiserne Brücke verbunden.

Schrägstehende Förderbahnen kommen bei neueren, unten besprochenen Formen der Aufzüge zur Anwendung.

Während man noch in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, als die Hochöfen erheblich niedriger und ihr Bedarf an Schmelzstoffen im Vergleiche zu dem der modernen Hochöfen sehr gering war, sich mitunter eines durch Menschenkraft betriebenen Haspels zur Bewegung der Förderschale bediente, kommt jetzt fast ausnahmslos Elementarkraft für den Betrieb des Aufzuges in Anwendung. Meistens wird Dampfkraft benutzt; liegt aber die Dampfkesselanlage weit von dem Aufzuge, so kann es zweckmäfsig sein, diesen nicht unmittelbar durch eine Dampfmaschine, sondern durch einen Elektromotor treiben zu lassen (elektrische Aufzüge). Die Anordnung des Aufzuges selbst kann hierbei die nämliche bleiben wie bei dem unmittelbaren Antriebe durch Dampf. Verschieden aber ist die Art und Weise, in welcher die Kraft für die Bewegung des Gichtaufzuges nutzbar gemacht wird, und man unterscheidet demnach verschiedene Gattungen von Gichtaufzügen, deren wichtigste in folgendem kurz besprochen werden sollen.

b) Gichtaufzüge mit Antrieb durch Seiltrommeln oder Seilscheiben.

Diese Gichtaufzüge sind am häufigsten in Benutzung, und die meisten von ihnen sind doppeltwirkend.

Bisweilen hat man die Gichtaufzüge dieser Art ähnlich wie die Fördermaschinen für Bergwerke eingerichtet. Eine liegende Zwillingsdampfmaschine ohne Schwungrad, in einem seitlich vom Fördergerüste errichteten Maschinenhause aufgestellt, treibt eine Seiltrommel, von welcher aus zwei sich in entgegengesetzter Richtung auf- und abwickelnde Seile schräg aufwärts über zwei auf dem Scheitel des senkrecht stehenden Fördergerüstes gelagerte Seilscheiben geführt sind. An den entgegengesetzten Enden der Seile hängen die Förderschalen.

Diese Anordnung ist jedoch kostspielig und schwerfällig. Einfacher bei dem Betriebe durch Dampfkraft ist eine von der Firma Ehrhardt & Sehmer in Saarbrücken eingeführte und mehrfach zur Anwendung gebrachte Einrichtung, bei welcher der Hub des Dampfkolbens durch Vermittlung eines Flaschenzuges auf das Seil übertragen wird, so dafs ein einziger Kolbenhub ausreicht, die Förder-

schale von dem Boden zur Gicht oder umgekehrt zu bewegen. Die Abbildungen 201 und 202 auf folgender Seite zeigen die Einrichtung eines solchen Aufzugs. *a* ist der Dampfzylinder, dessen Kolbenstange den zwischen Geradführungen bewegten Flaschenzug *b* mit vierfacher Übersetzung trägt. *c*, *d* und *e* sind feste Rollen. Zwei Drahtseile vermitteln die Bewegungsübertragung. Das Ende des einen Seils ist am Dampfzylinder befestigt, wie in Abb. 202 erkennbar ist. Das Seil geht über die eine der beiden unteren Rollen des Flaschenzugklobens, dann über die Rolle *d* unterhalb des Dampfzylinders, von hier aufwärts über die zweite Flaschenzugrolle, schliefslich über die Rolle *e* und dann nach oben, wo es an dem Boden der Förderschale *f* befestigt ist. Steigt also der Kolben, so wird diese Schale abwärts gezogen. Zur Ermöglichung der Aufwärtsbewegung hängt sie an einem zweiten Seile, welches über die beiden oberen Rollen des Flaschenzugklobens sowie über die feste Rolle *c* geführt und mit seinem anderen Ende an dem Lagerstuhle von *c* befestigt ist. Dieses Seil zieht die Schale hoch, wenn der Kolben abwärts geht. Die zweite Förderschale wird von der ersten aus durch Vermittlung eines an derem Kopfe befestigten und über die Seilrolle *h* geführten Seiles bewegt, so dafs sie die entgegengesetzte Bewegung wie jene ausführt.

Da der Dampf zum Betriebe dieser Aufzüge ohne Expansion arbeitet, ist der Dampfverbrauch etwas gröfser als bei Expansionsmaschinen; aber der Unterschied ist nicht erheblich, weil der Aufzug nicht ununterbrochen, sondern nur während beschränkter Zeiträume in Tätigkeit ist. Der Nachteil wird durch die einfachere Einrichtung reichlich aufgewogen.

Statt des senkrechten Fördergerüsts benutzt man jedoch bei den Aufzügen mit Seilbetrieb in der Neuzeit häufig eine schrägstehende, bis über die Gicht führende Bahn, auf welcher der mit den aufzugichtenden Körpern beladene Wagen vom Seile unmittelbar, d. h. ohne Einschaltung einer Förderschale, emporgezogen wird, um dann in seinem höchsten Stande durch Kippen selbsttätig entleert zu werden. Aufzüge dieser Art sind zuerst im Jahre 1881 bei den Lucy-Hochöfen in Pittsburg durch die Brown Hoisting and Conveying Machine Co. in Cleveland (Ohio) eingeführt worden[1]); ihre wesentliche Eigentümlichkeit ist durch die Abb. 203 veranschaulicht. Die beiden Räderpaare des zur Hinaufbeförderung dienenden, vorn offenen oder nur durch eine Klappe geschlossenen Wagens *a*, welcher für die Aufnahme einer reichlichen Menge von Schmelzstoffen, gewöhnlich 5 bis 7 t Erz, eingerichtet ist, haben verschiedene Spurweite und laufen demnach auf zwei verschiedenen Gleisen, welche auf dem Fördergerüst *b* befestigt sind. Das für die Vorderräder bestimmte schmalere Gleis ist oberhalb der Gicht wagerecht gebogen und führt bis über die Gichtöffnung; das für die Hinterräder bestimmte breitere Gleis behält seine aufsteigende Richtung bei. Durch einen bügelförmigen, an dem hinteren Teile des Wagens befestigten Kloben ist der Wagen an ein Drahtseil

---

[1]) „Stahl und Eisen“ 1887, S. 695; 1897, S. 641.

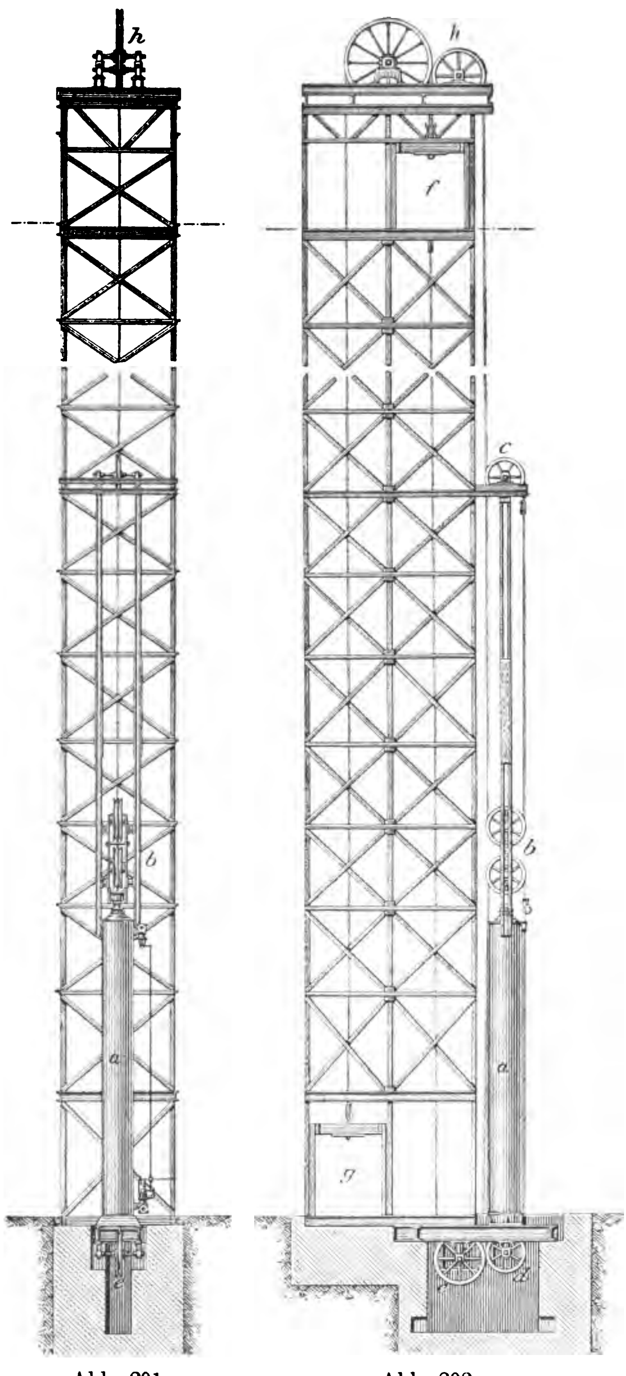


Abb. 201. Abb. 202.

angeschlossen, welches oben über eine Seilscheibe geht und mit seinem Ende an einer zu ebener Erde befindlichen Seiltrommel befestigt ist. Eine Dampfmaschine oder ein Elektromotor treibt die Seiltrommel. Das Füllen des Wagens geschieht am Fufse der geneigten Bahn durch selbsttätig sich entladende Eisenbahnwagen oder Kübel einer Drahtseilbahn, welche die Rohstoffe von den Vorratsbehältern aus zuführen; alsdann beginnt der Aufgang. Wenn der Wagen in der Höhe angekommen ist, nimmt er die gezeichnete Stellung an und wird nentleert. Ma baut diese Aufzüge einfach- oder doppeltwirkend (ein- oder zweitrümig); in letzterem Falle liegen die beiden Gleise nebeneinander.

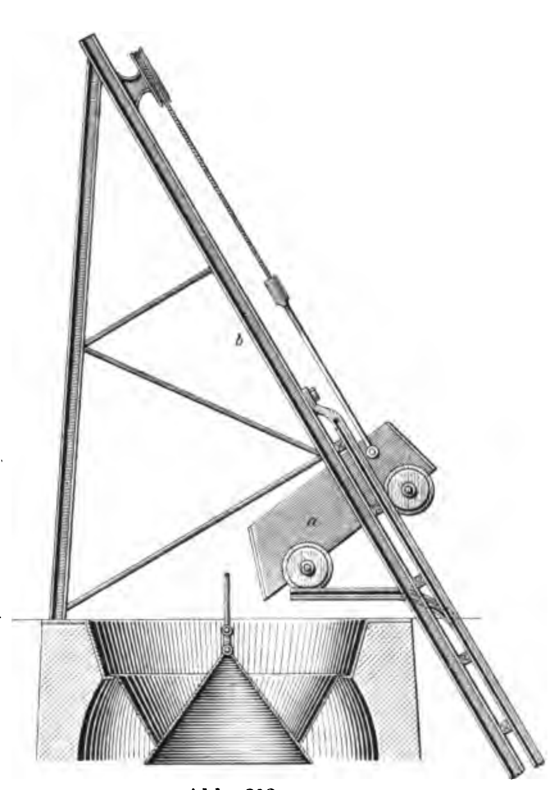


Abb. 203.

Die gesamte Anordnung eines solchen Schrägaufzuges ist durch die Abb. 204 und 205 veranschaulicht [1]). Der Aufzug ist doppeltwirkend, und es sind deshalb auf dem oberen Ende zwei Seilscheiben vorhanden, während eine gemeinschaftliche, in dem Seitengebäude aufgestellte Seiltrommel die Bewegung auf beide Seile in entgegengesetztem Sinne überträgt. Die oben angekommenen Wagen entleeren ihren Inhalt in den Schütttrichter *a*, dessen oberer Rand, wie in Abb. 204 erkennbar ist, längliche Form hat, so dafs für die Entleerung beider Wagen Platz ist. Die Einrichtung des unter dem Schüttrumpfe befindlichen doppelten Gichtverschlusses ist im wesentlichen dieselbe, wie auf S. 82 beschrieben wurde. Das Füllen der Gichtwagen geschieht von den Behältern (Taschen) *b* und *c* aus; eine Anzahl gleicher solcher Taschen sind nebeneinander in zwei Reihen angeordnet. Sie bestehen aus Eisen mit Holzboden und sind an der tiefsten Stelle mit Auslafsöffnungen versehen, welche durch Schieber verschliefsbar sind. Die Be-

[1]) Gichtaufzug des Elizawerks bei Pittsburg. Iron Age vom 31. Oktober 1901.

wegung der Schieber erfolgt durch Prefsluft von den darüber befindlichen Zylindern aus. Die Zuführung der Schmelzstoffe geschieht durch die auf dem Scheitel der Taschen sichtbaren Eisenbahnwagen. Zur Aufnahme der nach Öffnung der Schieber aus den Taschen kommenden Schmelzstoffe und zu ihrer Beförderung nach den Gichtwagen dienen eiserne, auf Schienen laufende Wagen *d*. Sie haben elektrischen Antrieb, geneigten Boden und Auslafsschieber; ferner sind sie mit eigner Wägevorrichtung versehen, welche sofort das Gewicht der aufgenommenen Schmelzstoffe anzeigt.

Dem Vorteile dieser Schrägaufzüge, durch die selbsttätige Beschickung Arbeitslöhne zu sparen, steht als Nachteil der Umstand gegenüber, dafs durch das öftere Umladen der Schmelzstoffe (aus den Taschen *b* und *c* in die Wagen *d*, aus diesen in die Gichtwagen) und das Herabstürzen aus beträchtlicher Höhe beim Aufgichten reichlicher „Abrieb" entsteht, d. h. dafs ein Teil des Schmelzgutes Pulverform annimmt, wodurch der Schmelzgang des Hochofens geschädigt werden kann; ferner die Schwierigkeit, eine gleichmäfsige Verteilung der einstürzenden Schmelzstoffe zu bewirken. Letzteren Übelstand hat man mehrfach dadurch zu beseitigen gesucht, dafs man den Schütttrichter oberhalb der Gicht beweglich — drehbar — machte, um die Schmelzstoffe am ganzen Umfange des darunter befindlichen Gasfangs verteilen zu können[1]); oder indem man die Fahrbahn nicht über der Gicht, sondern seitlich daneben endigen liefs, so dafs der ankommende Wagen erst von hier aus in die entsprechende Stellung oberhalb des Gasfangs gebracht wird[2]). Näheres hierüber findet der Leser in den unter Literatur genannten Abhandlungen.

Befindet sich der Lagerplatz für die Schmelzstoffe in gröfserer Entfernung vom Hochofen, so kann man mit Vorteil eine Drahtseilbahn benutzen, welche ebenfalls die Fördergefäfse bis auf die Gichtbühne befördert, sei es von dem Stürzplatze des Hüttenwerks oder von der Gewinnungsstätte der Schmelzstoffe (Erzgrube, Kokerei). Das Fördergefäfs hängt hierbei mit Rollen an einem etwa 30 mm starken Drahtseile (welches bei kürzeren Entfernungen durch frei aufgehängte Schienen ersetzt sein kann); seine Bewegung empfängt es durch ein unter oder über jenem Tragseile befindliches dünneres Drahtseil ohne Ende, das Zugseil, an welches es durch eine leicht lösbare Kupplung angeschlossen wird. In Abb. 206 ist *a* das Tragseil, *b* das Zugseil. An den beiden Enden der Bahn geht das Zugseil über wagerecht gelagerte Seilscheiben, deren eine die unverändert bleibende Bewegung auf das Seil überträgt. An der Einlade- und an der Ausladestelle wird nun durch eine einfache Vorrichtung die Verbindung des Wagens (Fördergefäfses) mit dem Zugseile selbsttätig gelöst[3]); auf Hängeschienen, welche an das

---

1) Beispiel: „Stahl und Eisen" 1901, S. 1039 (Browns Gichtaufzug).

2) Beispiel: „Stahl und Eisen" 1905, S. 829 (Lürmanns Beschickungsvorrichtung).

3) Die Vorrichtungen zum Kuppeln des Wagens mit dem Zugseile und zur selbsttätigen Auslösung sind verschieden. Beispiele hierfür: Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins zu Hannover 1885, S. 539; Deutsche Patentschrift Nr. 95537.

Tragseil anschliefsen, wird der Wagen durch einen Arbeiter seinem Bestimmungsorte zugeführt, nach geschehener Ent- oder Beladung in derselben Weise zurückgebracht und an entsprechender Stelle an das Seil angeschlossen, um den umgekehrten Weg als zuvor zurückzulegen. Auf diese Weise kann unausgesetzt eine gröfsere Zahl Wagen, welche in entsprechenden Abständen an das Seil angeschlossen werden, gleichzeitig zur Beförderung gelangen. Die Abb. 207 bis 211 zeigen die Anordnung einer solchen von der Firma Adolf Bleichert & Co. in Leipzig-Gohlis auf einem Luxemburger Hochofenwerke erbauten Gichtseilbahn. Die Erze kommen teils auf Eisenbahnwagen, teils auf einer längeren Drahtseilbahn zur Hütte und werden in den durch Abb. 209 und 210 dargestellten Erztaschen mit Füllrümpfen aufgeschüttet. Die zur Beförderung nach der Gicht dienenden Wagen werden an Hängeschienen durch einen Arbeiter unter einen der Füllrümpfe gefahren, durch Öffnen eines Schiebers gefüllt (Abb. 209) und wiederum auf Hängeschienen nach der Drahtseilbahn bewegt, welche sie, nachdem die Kupplung eingerückt ist, auf Hängeschienen der schrägen Gichtbrücke (Abb. 207) bis zur Gicht führt. Die Anordnung der Hängeschienen zwischen den Füllrümpfen und der Drahtseilbahn ist im Grundrisse Abb. 208 erkennbar. Wenn die Wagen auf der Gichtbühne angelangt sind, werden sie selbsttätig losgekuppelt und dann auf Hängeschienen bis zur Gicht befördert. Eine oberhalb der Gicht angebrachte ringförmige Hängeschiene ermöglicht die Entleerung an jeder beliebigen Stelle (Abb. 211), worauf die Zurückbeförderung in derselben Weise stattfindet. Die Bewegung des Zugseils geschieht durch Vermittlung eines auf der Gichtbühne aufgestellten Elektromotors (Abb. 207) nebst Getrieben und Seilscheibe. Das Lager der unteren Seilscheibe ist mit einem Gegengewichte verbunden (in Abb. 207 sichtbar), welches dem Drahtseile die erforderliche Spannung sichert.

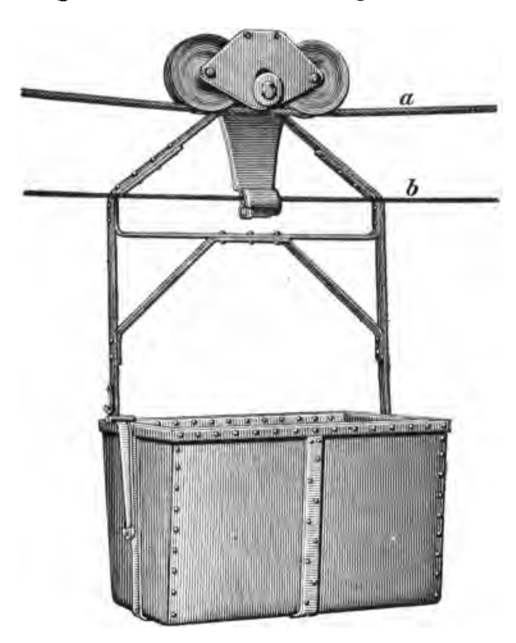


Abb. 206.

Die abgebildete Drahtseilbahn vermag stündlich 100 t Erz nach der Gicht zu befördern. Zur Beförderung der Koks aus den neben den Hochöfen gelegenen Koksrümpfen nach der Gicht dient ein in

Abb. 207 erkennbarer senkrechter Aufzug; die Wagen zur Aufnahme der Koks aber haben dieselbe Einrichtung wie die Erzwagen und werden, wie diese, auf Hängeschienen bis zur Gicht gefahren und hier entleert.

Bei einigen anderen Anlagen befördert man die Erze von der Grube aus unmittelbar nach der Hochofengicht, ohne sie zuvor auf dem Hüttenplatze abzustürzen. Statt der eisernen Gichtbrücke der abgebildeten Gichtbahn dienen alsdann, wie bei solchen auf gröfsere Entfernungen sich erstreckenden Drahtseilbahnen überhaupt, eiserne, in entsprechenden Abständen aufgestellte Stützen zum Tragen der Seile[1]).

c) Wassertonnenaufzüge.

Diese Aufzüge sind stets doppeltwirkend. Beide Schalen hängen an den Enden eines über eine Seilscheibe oberhalb der

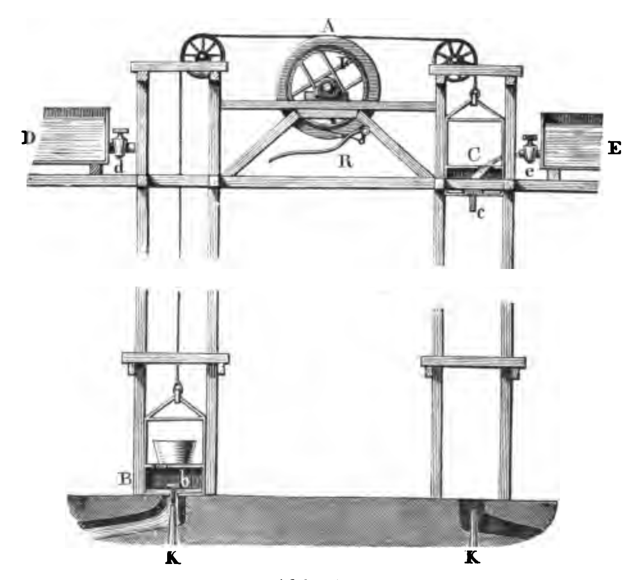


Abb. 212.

Gicht gelegten Seiles. Unter jeder Förderschale befindet sich ein aus Eisenblech gefertigtes Wassergefäfs, welches auf der Gicht mit Wasser gefüllt wird. Durch das hierbei entstehende Übergewicht wird die oben befindliche, mit den entleerten Gichtkarren belastete Schale zum Niedergange gebracht, während die unten mit den gefüllten Karren beladene Schale steigt. Sobald die sich abwärts bewegende Schale unten angekommen ist, öffnet sich selbsttätig

[1]) Abbildungen solcher Anlagen: Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins zu Hannover, Band 31 (1885), S. 538; auch Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1888, S. 1045; „Stahl und Eisen“ 1900, S. 134; 1904, Tafel XVI und XVII.

ein in ihrem Boden angebrachtes Ventil, und das als Füllung dienende Wasser strömt aus.

Die Abb. 212 läfst diese Einrichtung erkennen. *B* und *C* sind die beiden Förderschalen, durch ein über die Scheibe *A* gelegtes Seil verbunden; *D* und *E* sind Wasserbehälter zur Zuleitung des Wassers, welches nach dem Öffnen der Hähne *d* oder *e* durch eine Öffnung in dem Deckel des Wassergefäfses einströmt; *b* und *c* sind die erwähnten Ventile, welche unten durch Aufstofsen auf die Stifte *KK* geöffnet werden und das Wasser abfliefsen lassen.

Ein gewisses Übergewicht an Wasser ist erforderlich, um die erste Bewegung hervorzubringen; aufserdem ist es zur Überwindung der Reibungswiderstände notwendig, dafs eine etwas gröfsere Wassermenge von dem Gefäfse aufgenommen werde, als der zu hebenden Last allein entsprechen würde. Man fertigt die Gefäfse daher annähernd doppelt so grofs, als zur einfachen Gewichtsausgleichung notwendig sein würde, und unterbricht den Zuflufs des Wassers, sobald man an dem Rucken der Schale merkt, dafs ein genügendes Übergewicht vorhanden ist.

Den Gesetzen des Falls gemäfs tritt während des Niederganges eine zunehmende Beschleunigung der Geschwindigkeit ein. Das Gewicht der abwärts bewegten Teile aber vergröfsert sich während des Niederganges, da das Seil der abwärts gehenden Schale länger, das der aufsteigenden Schale kürzer wird. Wollte man also die Schalen sich selbst überlassen, so würden sie mit heftigem Stofse unten aufschlagen. Zur Vermeidung dieser Gefahr ist die Anbringung einer Bremse (*R* in Abb. 212) erforderlich, mit deren Hilfe die Bewegungsgeschwindigkeit geregelt werden kann.

Damit aber die auf der Gicht angelangte noch belastete Schale nicht etwa ohne weiteres sich wieder abwärts bewege, wenn aus der unten befindlichen Schale das Wasser ausfliefst, mufs eine selbsttätig wirkende Feststellung für die jedesmal oben befindliche Schale eingerichtet werden. Sie kann aus einem Riegel bestehen, welcher beim Aufsteigen der Schale von dieser selbst zur Seite geschoben wird, um den Weg freizulassen, durch Vermittlung einer Feder oder eines Gegengewichtes aber unter die Schale geschoben wird, sobald diese oben angekommen ist. Ein Handhebel oder eine sonstige einfache Vorrichtung dient zum Zurückziehen, wenn die Schale frei werden soll.

Wendet man zum Füllen der auf der Gicht befindlichen Wasserbehälter eine Druckpumpe an, welche unausgesetzt Wasser emporbefördert, so genügt eine verhältnismäfsig geringe Kraftleistung, um die für den Betrieb des Aufzuges wiederkehrend erforderlichen Wassermengen in den Behältern anzusammeln. Die Druckpumpe kann von der Gebläsemaschine mitbetrieben werden, und die Anlage einer besonderen Betriebsmaschine für den Aufzug wird entbehrlich. Noch einfacher gestaltet sich die Anlage, wenn man — wie es in gebirgigen Gegenden mitunter der Fall ist — ein natürliches Gefälle zur Zuleitung des Wassers benutzen kann.

Hierin liegt der Hauptvorteil der Wassertonnenaufzüge. Sie erfordern geringe Anlagekosten, geringe Betriebskosten und sind

leicht zu bedienen, so dafs auch ein gewöhnlicher Arbeiter befähigt ist, ihre Wartung zu übernehmen.

Ein Nachteil dagegen tritt häufig bei Frostwetter zutage. Die zur Gicht hinaufführenden Wasserleitungsröhren frieren leicht ein, zerspringen wohl gar durch Einwirkung des Frostes und müssen sorgfältig geschützt werden; auch der zur Ableitung des verbrauchten Wassers dienende Kanal kann, wenn er lang ist und geringes Gefälle besitzt, durch Eisbildung verstopft werden. Je länger die Wasserleitung, je höher also der Hochofen, und je kälter das Klima ist, desto leichter wird die Brauchbarkeit des Gichtaufzugs hierdurch geschädigt. Aus diesem Grunde bringt man bei neueren Anlagen die Wassertonnenaufzüge, welche in früherer Zeit zu den am häufigsten benutzten Gichtaufzügen bei Hochofenanlagen zählten, nur noch selten zur Anwendung.

d) Wasserdruckaufzüge.

Diese Aufzüge sind einfachwirkend und in der Jetztzeit bei Hochöfen kaum noch in Benutzung, während sie in früheren Jahrzehnten nicht selten Anwendung fanden.

In einem senkrecht stehenden Zylinder wird durch Wasserdruck ein Kolben mit nach oben gerichteter Kolbenstange bewegt, auf deren oberem Ende die Förderschale befestigt ist, so dafs sie mit dem Kolben gehoben und gesenkt wird. Das Anheben erfolgt durch Zuleitung von Druckwasser unter den Kolben, der Niedergang durch das eigene Gewicht des Kolbens nebst Förderschale, sobald dem für den Aufgang benutzten Wasser durch das Öffnen eines Hahnes oder eines Ventiles Auslafs verschafft ist.

Der Treibzylinder des Wasserdruckaufzuges mufs demnach eine Höhe gleich der Förderhöhe besitzen und in einem Schachte unterhalb der Hüttensohle seinen Standort erhalten. Hierdurch wird die ganze Anlage sehr schwerfällig und kostspielig, und dieser Übelstand wächst mit der Höhe des Ofens. Durch Einschaltung eines Flaschenzuges, wie bei dem Dampfaufzuge (Abb. 201 und 202), würde sich zwar der Nachteil abmindern und die Hubhöhe des Treibzylinders auf die Hälfte oder ein Viertel beschränken lassen, aber in diesem Falle ist die Benutzung von Dampf immerhin einfacher als von Druckwasser, welches ohnehin in Winterkälte vor dem Einfrieren geschützt werden müfste.

e) Luftdruckaufzüge.

Auch diese sind, wie die Wasserdruckaufzüge, einfachwirkend. Als Mittel zur Verdichtung dient Luft, welche von einem Gebläse verdichtet oder von einer Luftpumpe verdünnt wird.

Eine im Anfange der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts durch Gjers eingeführte und seitdem auf mehreren Hochofenwerken zur Anwendung gelangte Form solcher Aufzüge ist in Abb. 213 und 214 dargestellt. *a* ist ein gufseiserner, aus mehreren genau zusammenpassenden ausgebohrten Stücken zusammengesetzter Zylinder, in welchem der Kolben *b* auf und nieder beweglich ist.

Durch vier über Rollen *cc* geführte Seile ist mit dem Kolben die Förderschale *d* verbunden, so dafs diese steigt, wenn jener sinkt, und umgekehrt. Das Gewicht des Kolbens wird so bemessen, dafs das Gewicht der Förderschale nebst dem Gewichte der Gichtwagen und einem Teile von dem Gewichte der Wagenladung dadurch ausgeglichen wird, und die Förderschale steigt demnach selbsttätig, solange keine Belastung vorhanden und der Luft unterhalb des Kolbens Auslafs gegeben ist. Bei voller Belastung der Schale bedarf es dagegen einer nur verhältnismäfsig geringen Luftverdünnung unter dem Kolben, um jene zu heben; wenn Niedergang der mit den leeren Wagen belasteten Schale stattfinden soll, braucht die Luft unterhalb des Kolbens nur so weit verdichtet zu werden, als dem Übergewichte des Kolbens entspricht.

In anderen Fällen hat man die Gewichtsausgleichung derartig bemessen, dafs auch die nur mit den leeren Karren beladene Schale etwas schwerer ist als der Kolben und selbsttätig sinkt, sobald sie sich selbst überlassen wird. Es ist mithin nur für den Aufgang der Schale eine Tätigkeit der Luftpumpe zur Verdünnung der Luft unter dem Kolben erforderlich. Die Einrichtung wird hierdurch etwas vereinfacht, wenn auch in Rücksicht auf die nunmehr erforderliche stärkere Luftverdünnung eine Arbeitsersparung nicht dadurch erreicht wird; der Wirkungsgrad des Aufzuges dürfte sogar etwas ungünstiger als bei der letzteren Anordnung ausfallen.

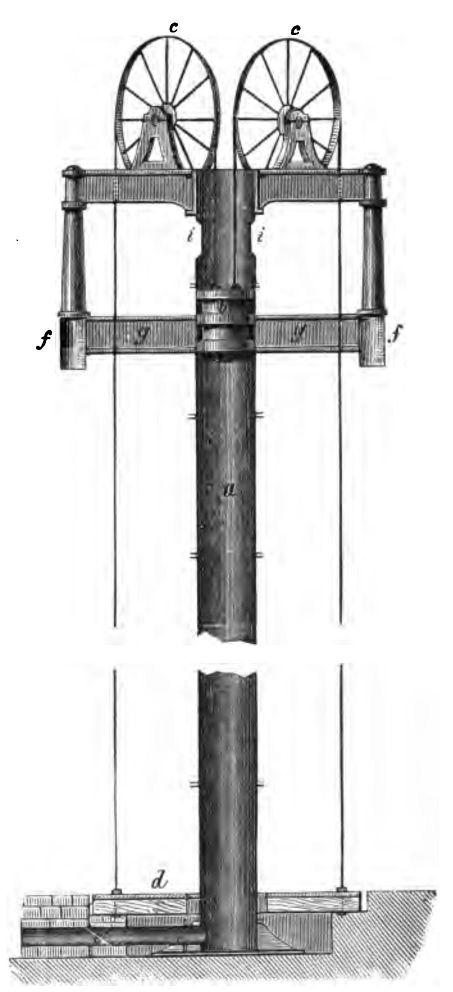


Abb. 213.

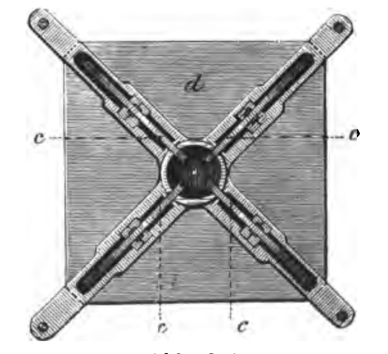


Abb. 214.

Das im unteren Teile des Zylinders angebrachte Zweigrohr *e* dient zur Zuführung oder zum Absaugen der Luft unter dem Kolben. Man bedient sich hierzu einer Zwillingsmaschine ohne Schwungrad mit zwei Dampf- und zwei Luftpumpenzylindern. Die Saug- und Druckrohre der Luftpumpenzylinder endigen in einem Steuerungskasten mit Schieber an dem Ende des Rohres *e*. Durch entsprechende Stellung des Schiebers setzt man, wenn die Förderschale steigen, der Kolben *b* sich abwärts bewegen soll, das Saugrohr der Luftpumpe mit dem Innern des Rohres *a*, das Druckrohr mit der äufseren Luft in Verbindung; die Luft unter dem Kolben wird verdünnt; für die entgegengesetzte Bewegung tritt das Druckrohr in Verbindung mit *a*, und die erforderliche Luft wird durch das Saugrohr von aufsenher angesaugt.

ff sind die Träger der Gichtbrücke, unter sich durch die Querträger *gg* versteift. In dem obersten Teile des Zylinders *a* sind einige Öffnungen *ii* angebracht, durch welche man zum Kolben gelangen kann, wenn dieser geschmiert werden soll. Die Liderung des Kolbens besteht aus Hanf, welcher mit Unschlitt getränkt ist.

Aufzüge dieser Gattung zeichnen sich durch sanften Gang und grofse Sicherheit gegen Unglücksfälle aus. Ihre Anlagekosten aber sind in Rücksicht auf die ziemlich kostspielige Herstellung des Treibzylinders beträchtlich, und ihr Wirkungsgrad veringert sich um so mehr, je stärker die zur Bewegung des Kolbens erforderliche Verdichtung oder Verdünnung der Luft, je kleiner also der Querschnitt des Kolbens im Verhältnisse zu dem Gewichte der zu fördernden Last ist. In den meisten Fällen beträgt der erforderliche Überdruck $^1/_3$ bis $^1/_2$ Atmosphäre (0,3 bis 0,5 kg auf 1 qcm). Bei Neuanlagen kommen sie kaum noch in Benutzung; dagegen findet man sie noch auf Werken, wo sie in früherer Zeit erbaut wurden [1]).

Literatur.

Einzelne Werke.

J. v. Hauer, Die Hüttenwesensmaschinen. 2. Aufl., Leipzig 1876, S. 260 bis 288 (teilweise veraltet).

J. Weisbach, Ingenieur- und Maschinenmechanik. Bearbeitet von G. Hermann, 3. Teil, 2. Abteilung. 2. Aufl., Braunschweig 1880, S. 97—150 (teilweise veraltet).

E. F. Dürre. Die Anlage und der Betrieb der Eisenhütten. Leipzig 1884. Bd. II, S. 235.

E. F. Dürre, Die Hochofenbetriebe am Ende des 19. Jahrhunderts. Berlin 1901. S. 136.

H. Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde. 2. Aufl., Band II. Braunschweig 1902. S. 1108.

Ad. Ernst, Die Hebezeuge. 3. Aufl., Berlin 1899.

F. Löwe und Dr. Zimmermann, Handbuch der Ingenieurwissenschaften. Bd. 5, Abt. 8, S. 117 (Drahtseilbahnen).

---

[1]) Abbildungen von Luftdruckaufzügen auf amerikanischen Werken: „Stahl und Eisen“ 1897, S. 637.

Abhandlungen.

Amerikanische Gichtaufzüge. „Stahl und Eisen“ 1887, S. 695.
Ein Aufzug für Hochöfen mit selbsttätiger Aufgebevorrichtung. „Stahl und Eisen“ 1891, S. 465.
Die neue Hochofenanlage zu Duquesne. „Stahl und Eisen“ 1897, S. 289.
J. Pohlig, Drahtseilbahn für die Rümelinger Hochöfen. Zeitschrift des Ingenier- und Architekten-Vereins zu Hannover, Bd. 31 (1885), S. 537; auch Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1888, S. 1045.
Ottosche Drahtseilbahn für das Eisen- und Stahlwerk Hoesch in Dortmuud. „Stahl und Eisen“ 1900, S. 981.
F. W. Lürmann, Vorschläge zur mechanischen Beschickung von Hochöfen. „Stahl und Eisen“ 1900 S. 561.
E. G. Rust, Neuer Gichtaufzug für Hochöfen. „Stahl und Eisen“ 1900, S. 1147 (aus Iron Age vom 10. September 1900).
C. Schiebler, Elektrische Antriebe von Hochofenaufzügen, „Stahl und Eisen“ 1904, S. 452.
D. Baker, Die Hochofenbegichtung und ihr Einfluſs auf Ofengang und Ofenprofil. „Stahl und Eisen“ 1904, S. 873 (aus den Transactions of the American Institute of Mining Engineers).
R. Brennecke, Gichtseilbahnen „Stahl und Eisen“ 1904, S. 1113.
The Backlund-Burmann Traveling charging machine for blast-furnaces. Iron Age, Band 75 (1905), S. 1226.
F. Collischoun, Elektrisch betriebener Gichtaufzug. „Stahl und Eisen“ 1905, S. 704.
Mechanische Hochofenbegichtung. „Stahl und Eisen“ 1905, S. 826.

V. Die Vorrichtungen zur Anfuhr und Lagerung der Schmelzstoffe.

Je mehr die Ansprüche an die Erzeugungsfähigkeit der Hochöfen wuchsen, desto mehr muſste auch die Leistungsfähigkeit der Beförderungsmitttel für die erforderlichen Schmelzstoffe vergröſsert werden. Noch heute werden zwar in Gegenden, welche von den Hauptverkehrsstraſsen entlegen sind, mitunter sämtliche Erze und Kohlen meilenweit über Berg und Tal durch Pferde nach der Hütte gefahren; aber für den Groſsbetrieb ist eine solche Beförderungsweise nicht geeignet. Hier muſs Eisenbahn- oder Schiffsfracht an deren Stelle treten. Daſs die Schiffsfracht gegenüber der Eisenbahnfracht um so mehr an Bedeutung gewinnt, je länger die zurückzulegende Strecke ist, wurde schon auf S. 16 I hervorgehoben.

Aber nicht allein die Beförderungsmittel an und für sich, sondern auch die Vorrichtungen zum Ein- und Ausladen der Schmelzstoffe bei der Beförderung bedurften um so mehr der Vervollkommnung, je mehr die Menge der überhaupt zu befördernden Körper zunahm. Gerade in dieser Beziehung sind in den letzten Jahrzehnten erhebliche Fortschritte gemacht worden. Von einer Hochbahn oder einem hochgelegenen Stürzplatze aus kann in zahlreichen Fällen die Beladung der Fahrzeuge mit geringen Arbeitslöhnen bewirkt werden; für die Beförderung der Schmelzstoffe besonders gebaute Eisenbahnwagen gestatten die

Entladung in kürzester Zeit[1]); bei der Beförderung zu Wasser ermöglichen sinnreich erdachte Hebevorrichtungen an den Anlegestellen der Schiffe das Löschen der Ladung mit einem geringen Aufwande menschlicher Arbeit. Eine ausführlichere Beschreibung aller dieser Vorrichtungen gehört nicht mehr in das Gebiet der Eisenhüttenkunde; es möge genügen, unter Hinweis auf die unten gegebene Literatur über diesen Gegenstand hier zunächst als Beispiel für die Entladung von Schiffen eine von der Firma J. Pohlig in Köln a. Rh. für die Hütte Vulkan in Duisburg im Jahre 1900 gebaute Anlage in Abb. 215 dem Leser vor die Augen zu führen. Sie besteht aus zwei fahrbaren Huntschen Kranen[2]) mit anschliefsenden Brücken von je 63 m Länge; eine dritte fahrbare Brücke von 51 m Länge (in der Abbildung rechts) läfst sich an jede der beiden vorgenannten Brücken anschliefsen, so dafs alsdann eine Gesamtbreite der von den Brücken bestrichenen Fläche von 114 m sich ergibt. Ihre Länge (in der Fahrrichtung der Krane nebst Brücken) beträgt 160 m. Auf den Brücken befinden sich Schienengleise, auf welchen die zur Beförderung der Rohstoffe vom Kran zum Stürzplatze dienenden Wagen laufen; die Brücken selbst aber besitzen eine geringe Neigung (1 : 30) von den Kranen nach den Stürzplätzen, so dafs die unter den Kranen beladenen Wagen, wenn sie einen mäfsigen Stofs erhalten und dann sich selbst überlassen werden, selbsttätig auf den Brücken entlang laufen. Durch Befestigung eines Querstücks (Froschs) auf den Schienen läfst sich an beliebiger Stelle ihr Lauf unterbrechen; dieses Querstück erfüllt zugleich den Zweck, einen dagegen schlagenden, am Wagen befestigten Hebel zu bewegen, dadurch den Verschlufs des Wagens zu öffnen und diesen solcherart zur selbsttätigen Entleerung zu bringen. Durch ein an einem Seile hängendes Gegengewicht wird alsdann der entlastete Wagen nach dem Krane zurückbewegt. Die Entladung der Schiffe geschieht durch Kübel von 9 hl Inhalt, welche durch die Winde des Krans zunächst frei in senkrechter Richtung, dann auf der schrägen Bahn des Auslegers aufwärts bewegt werden, um oberhalb der Wagen durch Vermittlung einer Rutschbahn in diese entleert zu werden[3]). Die durch eine Bremse geregelte Abwärtsbewegung geschieht durch das eigene Gewicht der Kübel. Die Ausleger der abgebildeten Krane sind drehbar, um an verschiedenen Stellen des Schiffs benutzt werden zu können. Der Betrieb erfolgt hier durch Dampfkraft und erheischt einen Arbeitsaufwand von etwa 15 Pferdestärken für jeden Kran, wobei 50 bis 75 t Erz in der Stunde ausgeladen werden können; bei anderen Anlagen hat man elektrischen Antrieb in Anwendung gebracht.

Wenn die Anfuhr der Rohstoffe, wie in dem hier besprochenen Falle, durch Wasserfracht bewirkt wird, ist bei Bemessung der

---

[1]) Z. B. Talbots Selbstentlader, abgebildet in „Stahl und Eisen“ 1900 S. 137.

[2]) Über Huntsche, Krane und Umladevorrichtungen, vergleiche „Stahl und Eisen“ 1900, S. 828; auch 1905, S. 91.

[3]) Über die Einrichtung solcher Kübel: „Stahl und Eisen“ 1891, S. 461; 1900, S. 830.

Stürzplätze darauf Rücksicht zu nehmen, daſs die Schiffahrt während des Winters Monate lange Unterbrechungen erfahren kann und man deshalb eine bedeutende Menge von Vorräten aufzuspeichern gezwungen ist. Weniger umfänglich brauchen die Lagerstätten zu sein, wenn die Anfuhr durch Eisenbahnen oder Drahtseilbahnen bewirkt wird und man demnach eine Unterbrechung auf lange Zeit nicht zu befürchten hat. Um in diesen Fällen die Beförderung der Schmelzstoffe von ihrer Lagerstätte nach dem Gichtaufzuge nach Möglichkeit zu vereinfachen, benutzt man gewöhnlich zum Aufspeichern der Vorräte Behälter, die schon früher erwähnten Taschen (Erztaschen, Kokstaschen), in welche von oben her aus dem auf einer Hochbahn herzugefahrenen Wagen oder aus dem Kübel der Drahtseilbahn die Stoffe eingeschüttet werden, während die Entnahme unten an der tiefsten Stelle durch eine mit Schieber oder sonstiger Verschluſsvorrichtung versehene Öffnung geschieht. Um das Herausstürzen der Körper zu erleichtern, besitzt der Boden der Taschen in der Regel eine Neigung von etwa 45 Graden, und vor der Öffnung ist eine Rinne (ein Füllrumpf) angebracht, unter welche die zur Weiterbeförderung nach dem Hochofen dienenden Wagen gefahren werden. Die Taschen können aus Mauerwerk, Holz oder Eisen gebaut werden. In den oben gegebenen Abb. 205 sowie 209 und 210 sind bereits solche Erztaschen dargestellt.

Wenn die Schmelzkoks auf dem Hochofenwerke selbst dargestellt werden, sieht man gewöhnlich von der Anlage besonderer Kokstaschen ab, da es in diesem Falle einfacher ist, die Koks von der Rampe der Verkokungsöfen unmittelbar nach dem Gichtaufzuge zu befördern. Es ist hierbei zu berücksichtigen, daſs jedes Umladen, also auch jedes Einstürzen in die Kokstaschen und das spätere Auslassen in die Gichtwagen, einen Abrieb veranlaſst, d. h. die Entstehung von kleinen, zum Teil pulverförmigen Stücken, welche nicht nur wertlos für den Hochofen sind, sondern sogar durch Anhäufung im Ofeninnern Schädigungen des regelrechten Schmelzgangs hervorrufen können.

Holzkohlen verwahrt man in bedeckten Schuppen, da sie bei Regen- oder Schneewetter beträchtliche Mengen von Feuchtigkeit aufnehmen würden, wenn sie im Freien lagerten.

Literatur.

Einzelne Werke.

E. F. Dürre, Die Anlage und der Betrieb der Eisenhütten. Leipzig 1884. Bd. 2, S. 260—275.

E. F. Dürre, Die Hochofenbetriebe am Ende des 19. Jahrhunderts. Berlin 1901, S. 141.

M. Buhle, Technische Hilfsmittel zur Beförderung und Lagerung von Sammelkörpern. Berlin 1901.

Abhandlungen.

Drahtseilbahn für Erztransport. „Stahl und Eisen“ 1887, S. 617.

H. Wedding, Entlade- und Fördervorrichtungen für Erze und Brennstoffe in Nordamerika. „Stahl und Eisen“ 1891, S. 459.

C. Canaris, Hochbahn mit elektrisch betriebener Krananlage auf der Niederrheinischen Hütte. „Stahl und Eisen“ 1897, S. 1.
Axel Sahlin, The handling of material at the blast-furnace. Engineering, Band 64, S. 407, 496; auch „Stahl und Eisen“ 1897, S. 635.
M. Buhle, Technische Hilfsmittel zur Beförderung und Lagerung von Kohlen und Eisenerzen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1899, S. 1245, 1354, 1385; 1900, S. 72, 117, 169; 1902, S. 1470.
E. Schroedter, Ersparung in der Bewegung der Rohstoffe für die Eisendarstellung. „Stahl und Eisen“ 1900, S. 6, 132.
Die Youngstown-Hochöfen der National Steel Company. „Stahl und Eisen“ 1900, S. 141 (aus Iron Age vom 25. Dezember 1899).
W. Fawcett, Iron ore from mine to furnace. Engineering and Mining Journal, Band 69 (1900), S. 77, 107.
Frahm, Mechanische Handhabung von Erzen und Kohlen. „Stahl und Eisen“ 1900, S. 513, 597, 653, 698, 750, 798.
Frahm, Einrichtungen für die mechanische Handhabung von Erzen, Kohlen und Koks. „Stahl und Eisen“ 1901, S. 561, 693.
Aumund, Über Umlade- und Transportvorrichtungen für Erze und Kohlen. „Stahl und Eisen“ 1900, S. 825.
A. C. Johnston, Die neueren Erz- und Kohlenverlade-Vorrichtungen an den grofsen amerikanischen Seen. „Stahl und Eisen“ 1901, S. 14.
E. Langheinrich, Amerikanische Eisenhütten und deren Hilfsmittel. „Stahl und Eisen“ 1901, S. 953, 1035.
The Hoover and Mason ore handling system. Iron Age vom 4. September 1902, S. 1.
H. S. Johannsen, Neue Verladevorrichtungen. „Stahl und Eisen“ 1905, S. 15, 91.
Seilbahn und Eisenbahn. „Stahl und Eisen“ 1905, S. 257.

VI. Das Hochofenschmelzen.

1. Die Arbeiten beim Hochofen.

a) Das Austrocknen, Anwärmen und Anblasen des Hochofens.

In den Poren der Steine und in den Fugen des Mauerwerks eines neu errichteten oder neu zugestellten Hochofens befindet sich Feuchtigkeit, welche, wenn man den Hochofen nach Beendigung der Zustellung rasch erhitzen wollte, durch Dampfentwicklung leicht zu einer Lockerung des Steinverbandes oder gar zum Zerspringen einzelner Steine Veranlassung geben könnte. Ein allmähliches Austrocknen und Anwärmen ist daher erforderlich, bevor man zu dem eigentlichen Anblasen schreiten kann.

Dafs bei den in der Jetztzeit seltenen Hochöfen mit Massezustellung die Gefahr einer Beschädigung durch die entweichenden Dämpfe noch gröfser ist als bei Öfen mit Steinzustellung, ist leicht erklärlich, und jene Öfen erfordern daher eine ganz besonders vorsichtige Behandlung.

Man bewirkt das Austrocknen und das erste Anwärmen des Hochofens, indem man davor eine einfache Rostfeuerung anlegt und die Verbrennungsgase in dem Schachte des Ofens, welcher

hierbei als Esse wirkt, aufsteigen läfst. Die Anlage der Feuerung ist einfach. Ein gewöhnlicher Rost von $^1/_2$ bis 1 qm Fläche wird von Ziegelsteinen getragen, und darüber wird eine Verbrennungskammer eingerichtet, die man in den Ofen münden läfst. Als Zugang in das Ofeninnere dient bei Öfen mit offener Brust diese selbst, in welche man den Wallstein und auch den Tümpelstein noch nicht eingesetzt hat; bei Öfen mit geschlossener Brust läfst man eine Öffnung in der Gestellwand frei, welche erst später durch eingesetzte Steine geschlossen wird.

Ist bei dem Austrocknen besondere Vorsicht erforderlich (bei den erwähnten Öfen mit Massezustellung), so legt man auch wohl die Feuerung anfänglich in einiger Entfernung von dem Ofen an und läfst die Verbrennungsgase ohne Einschaltung eines Kanales durch den Ofenschacht ansaugen, so dafs sie reichlich mit Luft vermischt und nur im lauwarmen Zustande in den Ofen eintreten. Allmählich nähert man dann die Feuerung dem Ofen in dem Mafse, wie die Austrocknung fortschreitet. In jedem Falle darf beim Beginne der Arbeit die Feuerung nur schwach sein und erst nach und nach verstärkt werden, mufs aber ununterbrochen Tag und Nacht hindurch unterhalten werden, damit nicht Wiederabkühlung eintrete.

Will man dagegen die Austrocknung tunlichst beschleunigen, so stellt man in etwa $^1/_2$ m Höhe über dem Boden einen oder bei grofsem Durchmesser mehrere eiserne, mit glühenden Koks gefüllte Körbe auf, schützt die in der Nähe befindlichen Steine der Ofenzustellung vor zu rascher Erhitzung durch davor gestellte Eisenplatten, den Boden durch aufgelegte Ziegeln, die erst nach und nach entfernt werden, und ändert während des Verlaufs des Trocknens die Stellung der Kokskörbe, wie es dem Zwecke am besten entspricht. Bisweilen wärmt man auch durch ein Rostfeuer vor dem Ofen diesen vor und trocknet dann vollends mit Hilfe der Kokskörbe.

Auf dem Roste verbrennt man flammende oder verkohlte Brennstoffe. Letztere entwickeln am wenigsten Wasserdampf und wirken daher am kräftigsten austrocknend. Um den starken Zug abzuschwächen und die Gase mit den Wänden des Ofens in ausgedehntere Berührung zu bringen, auch zur Verhütung, dafs Regen oder Schnee in den Ofen gelange, deckt man (bei offener Gicht) wohl die Gichtöffnung durch eiserne Platten ab, welche auf Querstäben ruhen. Die Gase werden hierdurch gezwungen, an dem Rande ihren Austritt zu nehmen. Soll der Ofen mit einem Gichtverschlufs versehen werden, so wird dieser mitunter erst später angebracht, ohne dafs jedoch hierfür eine bestimmte Regel mafsgebend wäre. So z. B. schliefsen manche Hochofenleute den Ofen durch den Langenschen, von Hoffschen oder ähnlichen Gasfang und lassen die Gase durch das geöffnete Ventil am oberen Ende des mittleren Rohrs entweichen.

Die Zeitdauer dieses Austrocknens und Anwärmens richtet sich nach der Beschaffenheit des Baustoffs, auch zum Teil nach der jedesmaligen Geschäftslage. Drängt diese nicht sehr zu einem beschleunigten Vorgehen, so trocknet man langsam und setzt, um

sicher zu gehen, das Anwärmen einige Tage länger fort als unter anderen Verhältnissen. Bei Öfen mit Steinzustellung wird man mindestens fünf Tage hierauf verwenden müssen, während bei Massezustellungen vier bis sechs Wochen dafür erforderlich sein können. In jedem Falle mufs das Anwärmen so lange fortgesetzt werden, bis die Gestell- und Raststeine deutlich warm geworden sind.

Die Windformen setzt man erst ein, wenn das Anwärmen sein Ende erreicht hat, und die betreffenden Öffnungen hält man inzwischen durch eingesetzte Steine verschlossen.

Ist das Austrocknen und Anwärmen beendet, so entfernt man die dafür benutzte Feuerung, reinigt den Ofenherd von Asche, legt die Formen ein, verbindet sie mit der Wasserleitung, schliefst die Düsenstöcke an, verstopft die Formaugen mit Ton und schreitet zum Füllen und Anblasen.

In früherer Zeit wurde diese Arbeit in recht zeitraubender Weise ausgeführt, und bei kleinen Holzkohlenhochöfen benutzt man noch jetzt das nämliche Verfahren. Nachdem die Öffnungen im Gestell durch eingesetzte Steine, auch die Formöffnungen durch Ton geschlossen worden sind, so dafs nur noch ganz beschränkter Luftzutritt stattfinden kann, werden glühende Kohlen in den Herd gebracht und eine Lage frischer Kohlen (oder Koks) darauf geschüttet. Man wartet nun gewöhnlich, bis an der Oberfläche der eingeschütteten Kohlen sich brennbares Gas zeigt, und schüttet dann erst, um dem Ersticken des Ofens vorzubeugen, aufs neue Kohlen nach. Durch teilweises Öffnen oder vollständiges Schliefsen der Öffnungen im Gestelle regelt man den Luftzug und füllt in dieser Weise allmählich den Ofen mit Kohlen bis zur Gicht oder doch wenigstens bis nahe unterhalb der Gicht. Auch bei kleinen Öfen währt es in Anbetracht der Pausen zwischen dem Nachfüllen frischer Kohlen und dem Erscheinen der Flamme an deren Oberfläche einige Tage, bis das Füllen vollbracht ist. Inzwischen sammelt sich aber im Herde die Asche der verbrannten Kohlen, welche von Zeit zu Zeit entfernt werden mufs, um einer Verstopfung des Gestells vorzubeugen. Das hierfür angewendete Verfahren heifst das Rostschlagen. Man entfernt die Steine, mit welchen der Zugang in den Herd verschlossen ist (bei den Öfen mit offener Brust ist der Wallstein während des Füllens noch nicht eingesetzt und die Öffnung unterhalb des Tümpelsteines durch Steine geschlossen), legt eine starke Eisenstange in wagerechter Lage quer vor die Öffnung, so dafs ihre Enden durch untergelegte Steine oder in anderer Weise unterstützt sind und ihre Oberkante ein wenig tiefer liegt als der obere Rand der Öffnung, und schiebt nun über diese Querstange hinweg eine Anzahl langer Eisenstangen in das Gestell bis zur Rückwand des Ofens. Zwischen den einzelnen Stangen läfst man so viel Zwischenraum, dafs die Asche und kleineren Kohlenstücke hindurchfallen können, die gröfseren Stücke aber nicht. Die Stangen, deren aufsen befindliche Enden durch Arbeiter oder durch irgend eine einfache Vorrichtung festgehalten werden, bilden demnach einen wagerechten Rost, unter welchem nunmehr die angesammelte Asche mit langen Krücken ausgeräumt wird.

Wegen der von den glühenden Kohlen ausgestrahlten grofsen Hitze ist das Rostschlagen eine mühselige Arbeit, mufs aber mindestens alle zwölf Stunden wiederholt werden, so dafs bei gröfseren Öfen nicht selten ein 50- bis 60 maliges Rostschlagen erforderlich wird.

Ist der Hochofen in der beschriebenen Weise mit Brennstoff gefüllt, so beginnt man, schwache Erzgichten[1]) zu setzen und schwach geprefsten Gebläsewind einzuführen. Das Rostschlagen wird auch jetzt noch fortgesetzt, bis die erste flüssige Schlacke vor die Formen tritt; alsdann schliefst man das Gestell durch Einsetzen des betreffenden Steines. Der Erzsatz wird allmählich gesteigert und nach Verlauf einiger Wochen der Ofen in vollen Betrieb genommen.

Das beschriebene Verfahren gewährt eine grofse Sicherheit für den späteren guten Gang des Hochofens, und seine Nachteile — grofser Kohlenverbrauch und lange Zeitdauer — fallen um so unbedeutender aus, je kleiner der Ofen ist.

Die ungeänderte Anwendung desselben Verfahrens für die grofsen Kokshochöfen der Jetztzeit würde aber sehr bedeutende Opfer an Brennstoff, Zeit und Arbeitslöhnen erheischen. Es kommt hinzu, dafs die für die Zustellung dieser Öfen benutzten Schamottziegeln minder empfindlich für Temperaturwechsel sind und deshalb beim Anblasen rascher erhitzt werden können, als die natürlich vorkommenden Sandsteine, welche noch jetzt ziemlich häufig für die Zustellung von Holzkohlenhochöfen Verwendung finden. Zuerst kürzte man deshalb in England das Verfahren ab, indem man zu unterst Holz, darüber Koks in den Ofen brachte und mit dem Erzsatze begann, wenn der Ofen bis zu etwa der Hälfte seiner Höhe gefüllt war. Alsdann entzündete man das Holz und füllte nun allmählich den Ofen, worauf der Wind eingelassen wurde[2]). Durch Lürmann wurde das Verfahren noch weiter vervollkommnet und insbesondere das so lästige und zeitraubende Rostschlagen vollständig beseitigt. Man gibt den zum Füllen dienenden Koks einen entsprechenden Kalkzuschlag, um aus der Koksasche eine ausreichend dünnflüssige Schlacke zu bilden, welche aus dem Ofen abfliefst.

Das zum Entzünden der Koks und zur Auflockerung der Beschickung dienende Holz mufs trocken sein. Man wählt grofse Holzscheite, welche senkrecht stehend das Gestell anfüllen; darüber bringt man wohl eine Lage wagerecht liegender Scheite, so dafs der Ofen bis etwa 1 m über der Formenebene mit Holz gefüllt ist. Seitdem man jedoch durch die Einführung der steinernen Winderhitzer die Möglichkeit erlangt hat, den Gebläsewind weit über die Entzündungstemperatur der Koks hinaus zu erwärmen, sieht man in den Fällen, wo bereits ein anderer Hochofen im Betriebe

[1]) Eine Gicht in dem obigen Sinne ist der Inbegriff der in einem Male in den Ofen eingeschütteten Schmelzstoffe. Man unterscheidet Brennstoffgichten und Erzgichten; beide zusammen bilden eine volle Gicht.

[2]) Nach Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde (Abt. 2, S. 734), wurde der erste Hochofen in dieser Weise im Jahre 1863 durch Parry zu Ebbw Vale angeblasen.

steht und demnach heifser Wind verfügbar ist, auch wohl von der Anwendung des Holzes ganz ab. Man füllt den unteren Teil des Ofens mit Koks und entzündet diese durch den heifsen Wind.

In jedem Falle, man mag Holz anwenden oder nicht, wird zunächst der Ofen bis ungefähr zu einem Viertel oder Drittel seiner Höhe mit leeren Koksgichten (Koks ohne Erz) gefüllt, welchen man so viel Kalkstein zusetzt, als zur Verschlackung ihres Aschengehalts erforderlich ist. Die Zusammensetzung der Koksasche mufs hierbei mafsgebend sein; durchschnittlich kann man auf 1 Teil Koksasche 1,5 Teile Kalkstein rechnen. Aufser dem Kalkstein gibt man in der Regel den Koksgichten schon von Anfang an einen Zusatz von Hochofenschlacke, anfangs wenig, später mehr, so dafs zuletzt das Gewicht des Zuschlages von Kalkstein und Schlacke zusammen dem Gewichte der Koks annähernd gleichkommt. Ist die Schlacke schon an und für sich kalkerdereich und der Aschengehalt der Koks nicht sehr beträchtlich, so kann auch der Kalksteinzuschlag schliefslich ganz in Wegfall kommen und Schlacke an dessen Stelle treten. Die schmelzende Schlacke nimmt vermöge ihrer ziemlich beträchtlichen spezifischen Wärme[1]) eine entsprechend grofse Wärmemenge auf, führt sie nach unten, bereitet in solcher Weise den Herd des Ofens vor und bildet für das später nachfolgende Roheisen ein an Wärme reiches Bad, welches dieses vor Abkühlung und Erstarrung schützt.

Auf die Gichten mit Schlackenzusatz folgen schwache Erzgichten, zuerst gewöhnlich fünf bis sechs Gichten mit ungefähr einem Drittel des Erzsatzes, welcher bei vollem Betrieb gegeben wird, nebst Hochofenschlacke; dann ebensoviel Gichten mit dem halben Satze u. s. f. Je gröfser die Erzgichten werden, desto mehr verringert man den Zusatz von Hochofenschlacke. In dieser Weise wird der Hochofen ganz oder bis nahe zum Rande gefüllt.

Damit der Ofen nicht durch allzu dichte Lagerung der eingefüllten Körper beim Anblasen ersticke, gebraucht man die Vorsicht, sie nicht von obenher einzustürzen, sondern man läfst sie in Körben an einem Seile von oben herunter und breitet sie dann gleichmäfsig aus. Die Gichtverschlüsse müssen zu diesem Zwecke entfernt oder entsprechend gehoben werden, und ein über der Gicht aufgestellter Haspel dient zum Hinunterlassen der gefüllten und zum Emporziehen der geleerten Körbe. Auch die Arbeiter, welche das Ausbreiten der heruntergelassenen Schmelzstoffe zu besorgen haben und sich dazu eiserner Krücken bedienen, müssen von der Gicht aus heruntergelassen werden. Anfänglich bringt man mehrere Koksgichten in einem Male ein, breitet sie aus und gibt darüber den Zuschlag von Kalkstein und Hochofenschlacke; erst in der oberen Hälfte des Ofens verteilt man jede Gicht mit den erforderlichen Zuschlägen einzeln.

Wenn das Füllen beendet ist, setzt man die im Gestell etwa noch fehlenden Steine ein, prüft, ob alle Teile sich in gutem Zu-

---

[1]) Schinz fand die spezifische Wärme der Schlacke bei 1250° = 0,29, die des Roheisens nur ungefähr halb so grofs (Dokumente, betreffend den Hochofen, S. 33 und 34).

stande befinden, leitet das Kühlwasser zu den Formen und sonstigen gekühlten Teilen, macht den Gasfang betriebsfähig und bringt durch das Stichloch oder bei Öfen mit offener Brust unter dem Tümpel hindurch Feuer in den Herd oder leitet hocherhitzten Wind zu, falls man kein Holz angewendet hatte. Bei Benutzung von Holz zur Entzündung der Koks pflegt man mit dem Zulassen des Windes zu warten, bis die erste Schlacke erscheint, und den Luftzug durch Verschliefsen der Formen oder bei Öfen mit geschlossener Gicht durch Senken der Gichtglocke zu regeln; in jedem Falle bläst man anfänglich mit schwacher Pressung. Der Abstich wird vorher mit feuerfester Masse, welche fest eingestampft wird, so weit geschlossen, dafs nur eine engere (durch Einlegen eines Holzmodells beim Einstampfen der Masse freigehaltene) Öffnung, die eigentliche Stichöffnung für das Roheisen, noch offen bleibt[1]); mitunter läfst man, um den Boden des Ofens noch besser vorzuwärmen, anfänglich auch Gase durch diese Öffnung austreten (sofern nicht die Brust des Ofens offen ist) und schliefst sie erst, wenn die Schlacke anfängt, auszufliefsen.

Die Benutzung der Hochofengase zur Heizung der Kessel, Winderhitzer usw. beginnt, sobald sie sich als brennbar erweisen. Um Explosionen zu vermeiden, läfst man die in den Leitungen befindliche Luft vollständig durch das Gas verdrängen, bevor dieses entzündet wird.

In dem Mafse, wie die Beschaffenheit des erfolgenden Roheisens und der Schlacke es als zulässig erscheinen läfst, steigert man nunmehr die Windpressung und den Erzsatz, und nach Verlauf von drei bis sechs Tagen pflegt der Betrieb des Ofens in regelrechtem Gange sich zu befinden.

Beispiele des Anblasens verschiedener Hochöfen findet der Leser in den unter Literatur aufgeführten Abhandlungen.

b) Die Arbeiten während des gewöhnlichen Betriebes.

Diese Arbeiten erstrecken sich im wesentlichen auf das Herbeischaffen der Schmelzstoffe von ihren Lagerplätzen, Abmessen oder Abwägen in den erforderlichen gegenseitigen Verhältnissen, Hinaufbefördern auf die Gichtbühne und Einschütten in die Gicht, sobald die Oberfläche der Beschickungssäule um das entsprechende Mafs gesunken ist; ferner die Beaufsichtigung der Windformen, Reinigung von erstarrten Ansätzen, Regelung der Windmenge und Windtemperatur, sowie die Beaufsichtigung des Schlackenabflusses und die Entfernung der erfolgenden Schlacken; endlich die Herrichtung des Giefsbetts zur Aufnahme des Roheisens, das Ablassen (Abstechen) des Roheisens in bestimmten Zeiträumen und die Instandhaltung des Eisenstichs.

---

[1]) Die in dem Wallsteine oder, bei Öfen mit geschlossener Brust, in einem Gestellsteine ausgesparte Öffnung mufs beträchtlich gröfser sein als die eigentliche Stichöffnung, damit man nötigenfalls Versetzungen beseitigen kann, ohne den Stein zu beschädigen. Sobald sich bei der öfteren Benutzung die in der Masseausfüllung gelassene engere Stichöffnung allzusehr erweitert hat, wird die Ausfüllung erneuert.

Den Inbegriff des Erzgemisches, welches der Hochofen zur Darstellung dieser oder jener Roheisensorte erhält, heifst der Möller, die Arbeit des Mischens die Möllerung. Das Verfahren der Möllerung ist nach der Gröfse des Hochofens und nach der Anzahl der Erzsorten verschieden, welche „gattiert", d. h. in bestimmtem gegenseitigem Gewichtsverhältnisse miteinander verschmolzen werden.

Je kleiner der Hochofen ist, desto empfindlicher ist er gegen jede zufällige Unregelmäfsigkeit in der Zusammensetzung der Beschickung. Deshalb wird bei Holzkohlenhochöfen, insbesondere bei den auf graues Roheisen betriebenen, besondere Sorgfalt auf die Möllerung verwendet. In einem für diesen Zweck eingerichteten, in der Nähe des Gichtaufzuges gelegenen Möllerhause fährt man auf dem mit Eisenplatten abgedeckten Fufsboden die einzelnen Erzsorten in flachen Schichten mit rechteckiger Grundfläche übereinander auf, so dafs ein regelmäfsiger Haufen in Form einer flachen abgestumpften Pyramide von $^3/_4$ bis 1 m Höhe entsteht. Jede Schicht eines einzelnen Erzes wird, ehe die nachfolgende darüber aufgeschüttet wird, mit Holzkrücken geebnet und gleichmäfsig auf der ganzen Fläche verteilt. Sind Zuschläge erforderlich, so werden auch diese zwischen den Erzen schichtenweise aufgefahren. Von diesem Möller wird nun mit der Keilhacke und Schaufel durch senkrechte Schnitte ein Teil nach dem andern losgetrennt, gut durcheinander geschaufelt, und von dieser Mischung erhält alsdann der Hochofen die erforderliche Menge für jede Gicht. Bevor der erste Möller verbraucht ist, mufs an einer anderen Stelle des Möllerhauses bereits ein zweiter fertig angefahren sein, damit nicht Mangel eintrete.

Einfacher ist das Verfahren bei grofsen, mit Koks betriebenen Hochöfen. Hier entnimmt man für das jedesmalige Aufgichten so viel von jeder Sorte der Erze und Zuschläge, als der vorgeschriebenen Zusammensetzung des Möllers entspricht, und schüttet die Körper, ohne sie vorher zu mischen, ohne weiteres in die Gicht, so dafs erst in dem Ofen selbst die Mischung erfolgt.

Zur Beförderung der Erze, Zuschläge und Brennstoffe bedient man sich in den Fällen, wo der Hochofen nicht mit Schrägaufzug für selbsttätige Beschickung (S. 149) oder mit Drahtseilbahn (S. 152) versehen ist, eiserner Karren (Hunde), welche auf Schienen laufen. Um das Entleeren in kürzester Zeit bewirken zu können, benutzt man Kippwagen; die Abb. 216 und 217 stellen zwei übliche Formen solcher Kippkarren für Eisenhochöfen dar, deren Handhabung leicht verständlich ist. Der kleinere Karren ist für Erze, der gröfsere für Koks bestimmt[1]).

Den Karren für Erze pflegt man einen Inhalt von 0,3 bis 0,5 cbm, denen für Brennstoffe einen Inhalt von 0,5 bis 1,0 cbm zu geben, sofern ihre Bewegung und Entleerung durch Handarbeit ausgeführt wird. Dafs man dagegen den Förderwagen für die schrägen Gicht-

---

[1]) Die abgebildeten Gichtwagen werden von der Firma H. Köttgen & Co. in Bergisch-Gladbach gefertigt. Im übrigen hat fast jedes Hochofenwerk seine eigenen Formen der Gichtwagen.

aufzüge mit selbsttätiger Entleerung einen erheblichen gröfseren Fassuhgsraum gebe, wurde oben erwähnt.

Die aufzugichtenden Erze, Zuschläge und Brennstoffe werden entweder gewogen oder gemessen (wobei die Gichtkarren selbst gewöhnlich als Mefsgefäfse dienen), und man ermittelt in dem letzteren Falle von Zeit zu Zeit das Durchschnittsgewicht einer bestimmten Mafseinheit der Schmelzstoffe, um durch Rechnung das Gewicht der aufgegichteten Körper zu erhalten. Letzteres Verfahren hat den Vorteil der gröfseren Einfachheit, da das jedesmalige Wägen wegfällt, und man vermeidet bei der Berechnung der Betriebsergebnisse eher die Unrichtigkeiten, welche die Schwankungen in dem Wassergehalte der im Freien lagernden Stoffe bei verschiedenen Witterungsverhältnissen herbeiführen können. Besonders in dem Gewichte mulmiger Brauneisenerze zeigen sich mitunter erhebliche Abweichungen bei Regen und bei trockenem Wetter. Andernteils unterliegt auch das spezifische Gewicht der Brenn-

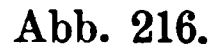



Abb. 216.

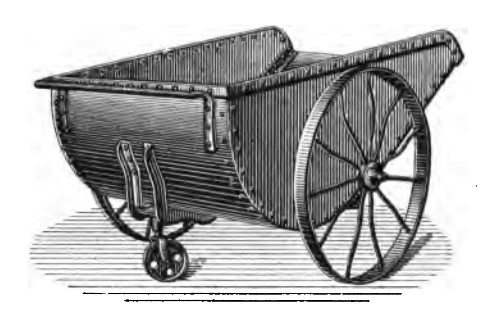


Abb. 217.

stoffe doch häufig Schwankungen, und man ist demnach auch beim Messen nicht ganz sicher vor Abweichungen. Auf vielen Werken ist es üblich, die Brennstoffe nach Gemäfs und die Erze nebst Zuschlägen nach Gewicht aufzugeben. Der Umstand gibt hierfür den Ausschlag, dafs beim Wägen feuchter Brennstoffe der Hochofen nicht allein weniger Brennstoff erhält, als ihm bestimmt war, sondern auch noch gezwungen ist, mit der geringeren Brennstoffmenge die im Überschusse zugeführte Feuchtigkeit zu verdampfen, also in doppelter Beziehung geschädigt wird.

Da aber der Gang des Ofens auch bei sorgfältigster Beachtung aller mafsgebenden Verhältnisse nicht frei von Schwankungen bleibt, läfst sich während des Betriebes nicht ein stets unverändertes Verhältnis zwischen Brennstoff und Erzsatz beibehalten, sondern dem wechselnden Ofengange gemäfs mufs dieses Verhältnis geregelt werden. Eine Änderung würde ebensowohl durch Vergröfserung oder Verkleinerung der Brennstoffgichten als der Erzgichten zu erreichen sein; die Regel ist aber, die Brennstoffgichten unverändert zu lassen und die Gröfse der Erzgichten bei wechselndem Hochofengange zu verändern. Der Grund hierfür ist, dafs die Erze bei

ihrem bedeutend gröfseren spezifischen Gewichte und ihrer geringeren Stückgröfse im Hochofen weniger Raum einnehmen als die Brennstoffe, obgleich ihr Gesamtgewicht doppelt bis dreifach so grofs ist als das der letzteren; in der Verteilung der Schmelzstoffe im Ofen würden deshalb gröfsere Veränderungen eintreten, wenn man die Gröfse der Brennstoffgichten ändern wollte, als im anderen Falle.

Die Gröfse des jedesmaligen Brennstoffsatzes für eine Gicht aber mufs hauptsächlich von der Gröfse des Hochofens abhängen. Es kommt hierbei in Betracht, dafs, je gröfser die einzelnen Gichten sind, desto tiefer die Beschickungsoberfläche sinken mufs, bevor frisch aufgegichtet werden kann, und dafs mithin die durch das Einschütten kalter Schmelzstoffe in den Ofen hervorgebrachte Abkühlung bei gröfseren Gichtsätzen nicht allein stärker ist als bei kleineren, sondern auch sich bis zu einer gröfseren Tiefe im Ofen erstreckt. Wenn von diesem Gesichtspunkte aus kleinere Gichtsätze vorteilhafter sind als grofse, gibt es doch auch in dieser Beziehung eine Grenze des Zweckmäfsigen. Mit abnehmender Gröfse der einzelnen Gichten wird ihre Zahl beträchtlicher; hierdurch vermehrt sich auch die erforderliche Arbeit, und bei Öfen mit geschlossener Gicht, jedoch ohne einen zweiten Gichtdeckel, wo beim jedesmaligen Aufgichten ein Öffnen des Gichtverschlusses stattfindet, ist hiermit zugleich ein Gasverlust verknüpft. Bei den Öfen mit Parryschem, von Hoffschem, Langenschem Gasfange ist aber die Verteilung der Schmelzstoffe beim Aufgichten durch die Gröfse der einzelnen Gichten bedingt, wie bei der Besprechung jener Vorrichtungen erläutert wurde, und es gibt hier eine bestimmte, bei den einzelnen Hochöfen durch Erfahrung zu ermittelnde Gröfse des Brennstoffsatzes, welche nicht ohne Nachteil für den Verlauf des Schmelzganges unterschritten werden kann.

Da die Holzkohlen spezifisch leichter sind als Koks, d. h. in dem Ofen einen gröfseren Raum als diese einnehmen, und da andernteils die Holzkohlenhochöfen einen geringeren Rauminhalt als Kokshochöfen besitzen, ist auch die Gröfse der Brennstoffgichten dem Gewichte nach bei ersteren durchweg kleiner als bei letzteren. Die kleinsten Holzkohlenhochöfen erhalten Brennstoffgichten von nur 50 kg, bei den meisten beträgt das Gewicht 100 bis 150 kg, selten geht es über 200 kg hinaus. Die Brennstoffgichten der Koksöfen dagegen sind selten kleiner als 2000 kg; häufiger beträgt ihr Gewicht 3000 bis 5000 kg, mitunter bis 9000 kg. Bisweilen ist es vorgekommen, dafs der Betrieb günstiger wurde, wenn man gröfsere Gichten als zuvor setzte.

Als Richtschnur für die Zusammensetzung des Möllers oder, falls nicht besonders gemöllert wird, der einzelnen Erzgichten dient eine im Möllerhause oder sonst an geeigneter Stelle aufgehängte Tafel, auf welcher von dem Betriebsleiter des Hochofens die zu möllernden Erzsorten ihrer Menge nach vorgeschrieben werden. Eine zweite Tafel, auf welcher die Zahl der aufgegebenen Gichten und einzelnen Sätze vermerkt wird, dient zur Führung des Schmelzbuchs.

Die Entfernung der Schlacke aus dem Hochofen ist ziemlich einfach, wenn sie dünnflüssig genug ist, um von selbst abzufliefsen; bei den mit heifsem Winde betriebenen Kokshochöfen und auch bei den auf Weifseisen arbeitenden Holzkohlenhochöfen ist dies fast immer der Fall, sofern die Beschickung richtig zusammengesetzt ist und keine Störungen im regelmäfsigen Verlaufe des Schmelzganges eintreten. An die Schlackenform oder an die Schlackenspur bei Öfen mit offener Brust wird eine mit Masse ausgekleidete Rinne angeschlossen, welche die Schlacke einem Sammelorte zuführt. Die Aufgabe des Schmelzers ist es dann nur, dafür zu sorgen, dafs die Austrittsöffnung für die Schlacke aus dem Ofen nicht verstopft werde.

Die Art und Weise des Ansammelns der flüssigen und Fortschaffens der erstarrten Schlacke richtet sich nach ihrer beabsichtigten Verwendung, von welcher im siebenten Abschnitte die Rede sein wird. In zahlreichen Fällen läfst man die Schlacke unmittelbar aus der höher liegenden Schlackenrinne in gufseiserne Wagen laufen, in denen sie erstarrt und an einen entfernt liegenden Stürzplatz gefahren wird. Diese Wagen, welche auf Schienen laufen, sind vierrädrig; auf den Achsen ruht eine starke Gufseisenplatte, welche den Boden des zur Aufnahme der Schlacke bestimmten Eisenkastens bildet. Der Kasten ist mitunter aus vier untereinander und mit dem Boden verdübelten Platten zusammengesetzt, so dafs er sich auseinandernehmen läfst; häufiger hat er die Form eines abgestumpften, oben offenen Kegels, einer sogenannten Haube, welche mit Hilfe eines an geeigneter Stelle aufgestellten Krans von dem erstarrten Schlackenkuchen abgehoben wird, worauf dieser auf die Halde gestürzt werden kann. Die Haube hat kreis- oder ellipsenförmigen Grundrifs. Bisweilen ist der Boden zum Aufkippen eingerichtet, und der Kran, welcher den Kasten abhebt, wirft zugleich, indem er den Boden kippt, die Schlacke hinunter[1]. Man findet auf verschiedenen Werken zahlreiche Abweichungen in der Einrichtung dieser Schlackenwagen; oft sind örtliche Verhältnisse für die Einrichtung mafsgebend gewesen. Der räumliche Inhalt der Schlackenwagen beträgt 1 bis 4 cbm, mitunter darüber; die Beförderung der Wagen erfolgt bei grofsem Betriebe durch Lokomotiven.

Bei Benutzung von Schlackenwagen dieser Gattung bedarf es jedoch ziemlich langer Zeit, bis die Schlacke erstarrt ist und sie entleert werden können; auch kommt es vor, dafs die Haube durch die flüssige Schlacke etwas gehoben wird und diese darunter hinweg ausfliefst. Deshalb benutzt man auf manchen Hochofenwerken Schlackenwagen, welche die noch flüssige Schlacke abzufahren bestimmt sind, um dann durch Ausgiefsen entleert zu werden. Die Abb. 218 a. f. S. zeigt das Äufsere eines solchen von der Aktiengesellschaft Orenstein & Koppel in Berlin gebauten Schlackenwagens. Der muldenförmige, zur Aufnahme der Schlacke bestimmte Behälter hat am oberen Rande 2,52 m Länge und 2,32 m Breite bei 1,10 m Tiefe und ist am Boden mit Schamottmasse ausgekleidet. Er

---

[1]) Abbildung eines solchen Wagens: „Stahl und Eisen“ 1889, S. 685.

ruht mit angegossenen Zapfen auf zwei Lagerstühlen des Wagens. Das Kippen geschieht mit Hilfe zweier an den Seiten befestigter und in der Abbildung sichtbarer Ketten, die unten über Kettenrollen innerhalb des Wagens gelegt sind. Letztere empfangen von der an der Langseite des Wagens sichtbaren Kurbel durch Vermittelung von Zahnrädern ihre Drehung. Um jedes selbsttätige Kippen des Behälters während der Beförderung unmöglich zu machen, sind an der Unterseite zwei Rippen *aa* mit keilförmig zulaufenden Rändern angeschraubt, die bis nahe über die Oberkante des Wagens hinunter reichen und hier durch Klinkhebel und durchgesteckte Bolzen festgehalten werden, bis das Kippen erfolgen soll[1]).

Die Aufgabe, die aus dem Ofen kommende Schlacke über den oberen Rand der Wagen hinweg einfliefsen zu lassen, läfst sich ohne Schwierigkeit lösen; man legt, wie früher erwähnt wurde, von vornherein den Bodenstein des Ofens so hoch über die Ebene der Hüttensohle, dafs sowohl hierfür als für das Ablassen des Roheisens der nötige Fall gewahrt bleibt.

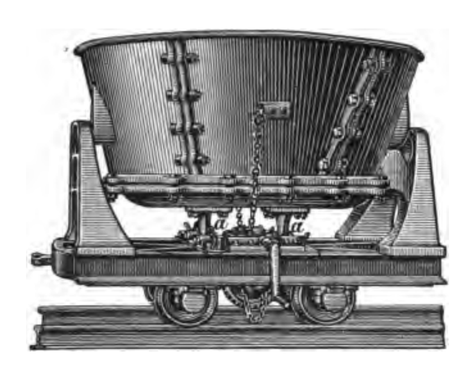


Abb. 218.

Bei Holzkohlenhochöfen, welche graues Roheisen für die Giefserei liefern, ist die Schlacke in der Regel nicht so dünnflüssig, dafs ein regelmäfsiges Abfliefsen möglich wäre, und man pflegt aus diesem Grunde, wie früher erwähnt wurde, diese Öfen nicht mit geschlossener, sondern mit offener Brust zu versehen. Die Oberfläche der zwischen Tümpel und Wallstein stehenden Schlacke wird mit einer Schicht Holzkohlenlösche bedeckt gehalten, um sie vor allzu rascher Abkühlung zu schützen; von Zeit zu Zeit, wenn die Oberfläche der Schlacke im Ofen steigt, hebt man mit einer Eisenstange die vor dem Tümpel befindliche halberstarrte Schlackendecke empor, zieht sie mit einer eisernen Krücke über die Oberkante des Wallsteins hinweg, fährt, wenn nötig, mit einem langen eisernen Haken unter dem Tümpel hinweg bis in das Gestell des Ofens, um erstarrte Schlackenansätze loszubrechen und der Schlacke den Weg nach vornhin frei zu machen, und schüttet dann frische Lösche auf.

Das Abstechen des Roheisens erfolgt, wenn es sich so weit im Herde angesammelt hat, dafs nur noch eine dünne Schlackendecke darauf schwimmt, oder auch vorzeitiger, wenn für einen anderen Betriebszweig Bedarf an flüssigem Roheisen vorliegt. Im Verlaufe von 24 Stunden pflegt dieses Abstechen zwei- bis

---

[1]) Über einige andere Formen von Schlackenwagen: „Stahl und Eisen“ 1891, S. 370; 1895, S. 99. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1903, S. 658.

sechsmal erforderlich zu sein, abweichend nach dem Fassungsraume des Herdes und dem Umfange der Roheisenerzeugung.

Zur Aufnahme des aus dem Stichloche kommenden Roheisens dienen fahrbare Giefspfannen, sofern das Roheisen an einer von dem Hochofen entfernten Stelle ausgegossen werden soll, oder ein Giefsbett unmittelbar vor dem Hochofen mit Gufsformen zur Herstellung von Roheisenmasseln[1]).

Benutzt man eine Giefspfanne, so wird dieser das Metall durch eine von dem Stichloch kommende eiserne, mit Lehm ausgeschlagene Rinne zugeführt, unter deren freiliegendes Ende die Giefspfanne gefahren wird. Das Stichloch mufs also hoch genug über der Erdoberfläche liegen, dafs für jene Rinne das nötige Gefälle gewahrt bleibt, und auf S. 57 war bereits erwähnt, dafs man aus diesem Grunde dem Unterbau der Hochöfen bis 5 m Höhe gebe.

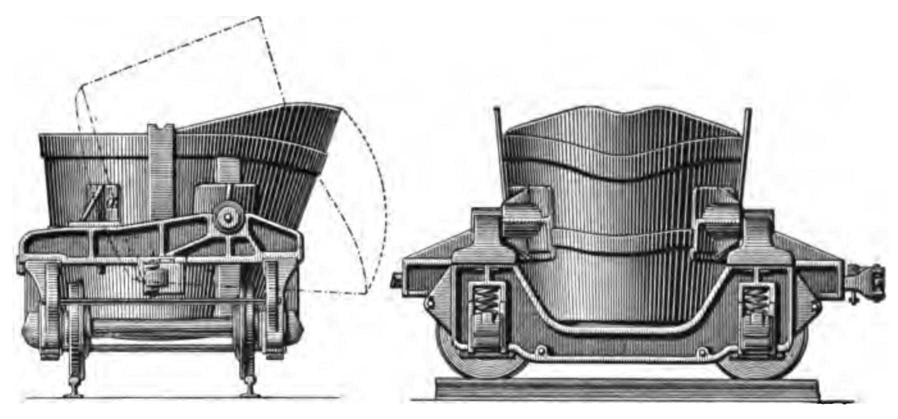


Abb. 219. Abb. 220.

Der Fassungsraum der Giefspfannen entspricht gewöhnlich der Menge des in einem Male abzustechenden Roheisens und kann 20 t oder mehr betragen; ihre Fortbewegung erfolgt gewöhnlich durch eine Lokomotive. Sie werden aus Eisenblech gefertigt und mit Schamottziegeln ausgemauert. Die Entleerung wird durch Kippen bewirkt; die Einrichtungen hierfür können verschieden sein. Eine einfach eingerichtete fahrbare Giefspfanne der Eliza-Hochöfen bei Pittsburg zeigen die Abb. 219 und 220[2]). Sie hängt mit zwei Zapfen in dem kräftigen Rahmen des Wagens und wird aufserdem in der Ruhe durch zwei angeschraubte Winkel *a* (Abb. 219) getragen, welche sich gleichfalls auf den Rahmen aufsetzen. Das Kippen wird mit Hilfe eines Wasserdruckkrans bewirkt, welcher an einem an der Rückseite der Pfanne befestigten Bügel eingreift.

---

[1]) Masseln sind die Roheisenbarren, welche zum Umschmelzen bestimmt sind. In manchen Gegenden Deutschlands nennt man sie Gänze, in Österreich Flossen.

[2]) Nach Iron Age vom 31. Oktober 1901. Sonstige Abbildungen von Roheisenpfannen-Wagen: Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1903, S. 521.

Da die Drehungszapfen in reichlichem Abstande von der Mittellinie der Pfanne angebracht sind, ist jedes selbsttätige Kippen ausgeschlossen; aufserdem ergibt sich hieraus der Vorteil, dafs der Kreisbogen, innerhalb dessen der Pfannenausgufs sich bewegt, verhältnismäfsig kurz ist, und dafs somit die Stelle, an welcher das Ausgiefsen erfolgt, ihre Lage nicht erheblich ändert.

Steht ein Kran zum Kippen der Pfanne nicht zur Verfügung, so versieht man einen der beiden für diesen Zweck entsprechend verlängerten Drehungszapfen mit einem Schneckengetriebe, welches von einer im Wagen gelagerten Schnecke Drehung empfängt und diese auf die Pfanne überträgt. Eine von der Hand bewegte Kurbel dient zur Drehung der Schnecke, entweder unmittelbar oder bei gröfseren Pfannen durch Vermittelung eingeschalteter Getriebe.

Beabsichtigt man nicht, aus der Pfanne zu giefsen, sondern das Giefsbett für den Gufs von Masseln zu benutzen, so wird dieses in den Pausen zwischen den einzelnen Abstichen vorgerichtet. Es befindet sich vor dem Ofen, etwas tiefer als das Stichloch, damit für das abfliefsende Roheisen das nötige Gefälle bleibe, und besteht aus einer Lage mäfsig feinkörnigen, für Gase durchlässigen Sandes, wie er auch in Eisengiefsereien für Herstellung des Herdgusses benutzt wird. Mit Hilfe eines Modells stellt man darin die Gufsformen her, in welchen das flüssige Roheisen erstarren soll. Sie sind oben offen und haben die Form flacher oder halbzylindrischer Rinnen, entsprechend der Form, welche man den Roheisenmasseln zu geben beabsichtigt. Statt der Sandformen bedient man sich nicht selten gufseiserner Formen, welche, nachdem sie entleert wurden, nur wieder an der betreffenden Stelle und in der richtigen Reihenfolge in das Sandbett eingegraben zu werden brauchen, um aufs neue zur Aufnahme des Roheisens bereit zu sein. Man spart dadurch die Arbeit des Einformens, und die Masseln bleiben frei von Sand, der an den im Sande gegossenen Masseln in oft nicht unerheblicher Menge haften bleibt. Durch das häufig wiederholte Erhitzen und Abkühlen aber werden die eisernen Gufsformen ziemlich rasch zerstört, so dafs sie einer öfteren Auswechslung bedürfen, und eine Ersparung ist deshalb mit ihrer Anwendung kaum verknüpft. Besonders häufig findet man sie bei der Darstellung gewöhnlichen Weifseisens in Anwendung. Graues Roheisen und Spiegeleisen erleiden durch die raschere Abkühlung in den gufseisernen Formen eine Änderung ihres Bruchaussehens, und solange man dieses Bruchaussehen als Mafsstab für den Wert des Roheisens betrachtete, mufsten die Hochofenwerke befürchten, durch die Benutzung eiserner Formen Veranlassung zu einer ungünstigen Beurteilung ihres Erzeugnisses seitens der Empfänger zu geben. Erst in neuester Zeit hat man sich auf einigen Werken über dieses Vorurteil hinweggesetzt und angefangen, auch graues Roheisen in eiserne Masselformen zu giefsen[1]).

Auf vielen gröfseren Werken liegt das Giefsbett unter freiem Himmel; auf anderen hat man es überdacht, um die Arbeiter und

---

[1]) „Stahl und Eisen“ 1898, S. 214.

auch die Gufsformen vor den Unbilden der Witterung zu schützen. Damit nun das Anfüllen der Sand- oder eisernen Formen mit dem aus dem Stichloche des Hochofens kommenden Roheisen in regelrechter Weise verlaufe, müssen sie in geeigneter Weise neben- und hintereinander angeordnet sein. Zu diesem Zwecke liegt vor dem Stichloche zunächst eine eiserne, mit Lehm ausgekleidete Rinne, wie für das Abstechen in Pfannen, an welche sich eine in Sand hergestellte, an dem Rande des Giefsbetts entlang führende Gosse anschliefst. Von dieser aus werden quer über das Giefsbett hinüber eine Anzahl paralleler Rinnen in Abständen von etwa 2 m voneinander abgezweigt, und an jede schliefsen sich nun, wie die Zinken eines Kammes an dessen Quersteg, die tunlichst nahe beieinander liegenden eigentlichen Masselformen von etwa 1,0 m Länge an. Mit Hilfe sogenannter Abstichschaufeln oder Schützen, Rundeisenstäben von etwa 1,5 m Länge mit einem spatenartigen Ansatze von der Form des Gossenprofils, welcher mit Lehm überzogen ist, regelt man die Verteilung des Roheisens, indem man sie quer in die Gosse steckt, um diese an der betreffenden Stelle abzusperren. Zunächst läfst man das Roheisen in die erste Reihe der Gufsformen eintreten, indem man den Hauptkanal unmittelbar hinter der ersten Abzweigung absperrt; dann in die zweite Reihe, u. s. f.

Je gröfser indes die Erzeugung des Hochofens ist, desto gröfser ist die Schwierigkeit, rechtzeitig die noch glühenden Masseln zu entfernen und das Giefsbett neu vorzurichten, bevor der folgende Abstich stattfindet. Für Hochöfen mit sehr grofser Roheisenerzeugung hat man deshalb zuerst auf nordamerikanischen, später auch auf europäischen Werken G i e f s m a s c h i n e n eingeführt, bestehend aus einer Reihe beweglicher, miteinander verbundener Gufsformen, welche aus einer Giefspfanne von der oben besprochenen Einrichtung nacheinander an bestimmter Stelle gefüllt und an anderer Stelle entleert werden, nachdem inzwischen das eingegossene Metall erstarrt ist. Die Gufsformen bestehen aus Eisen und werden mit Kalkwasser ausgestrichen. Sie sind entweder im Kreisringe angeordnet, um dessen Mittelpunkt sie gedreht werden, oder zu einem über zwei wagerechte Trommeln gelegten Bande ohne Ende verbunden, dessen obere Hälfte stetig die Vorwärtsbewegung und untere Hälfte die Rückwärtsbewegung ausführt (U e h l i n g sche Giefsmaschine, Abb. 221). Bei den Maschinen der letzteren Art stürzen die Masseln am Ende der Bahn selbsttätig aus den Gufsformen heraus, sobald diese nach unten sich wenden; bei der Bewegung im Ringe werden die in Zapfen hängenden Gufsformen durch eine einfache Vorrichtung gekippt. Ein aus Blechplatten gebildetes Band ohne Ende (in der Abbildung rechts sichtbar) kann die herausfallenden Masseln aufnehmen, sie zum Zwecke der Abkühlung durch einen Behälter mit Wasser führen und dann in die bereitstehenden Eisenbahnwagen werfen. In der Abbildung ist unterhalb der Maschine ein mit Kalkwasser gefüllter Trog sichtbar, aus welchem die zurückkommenden noch heifsen Gufsformen besprengt werden, um sofort wieder zur Aufnahme flüssigen Metalls tauglich zu sein. Die Länge einer solchen

Maschine beträgt 35 bis 45 m, der Durchmesser der ringförmigen Maschinen 15 bis 30 m. Hinsichtlich der Einrichtung im einzelnen möge auf die unter Literatur genannten Abhandlungen verwiesen werden.

Die Arbeit des Abstechens selbst verläuft nun folgendermafsen, sowohl bei der Aufnahme des Roheisens in Giefspfannen als bei dem Gusse von Masseln. Nachdem alle Vorrichtungen zur Aufnahme des flüssigen Roheisens instand gesetzt sind, wird bei den Öfen mit offener Brust das Gebläse abgestellt, weil sonst eine mächtige Flamme unter dem Tümpel hervorbrechen und den Aufenthalt davor unmöglich machen würde, sobald die Oberfläche der geschmolzenen Massen im Herde zu sinken beginnt. Alsdann öffnet man das Stichloch mit Hilfe eines eisernen Spiefses mit verstahlter Spitze und läfst das Roheisen nebst der darauf schwimmenden Schlacke auslaufen. Wenn der Herd entleert ist, läfst man zunächst den Wind für kurze Zeit zu, um so viel als tunlich Lösche und sonstige, im Herde befindliche lockere Körper

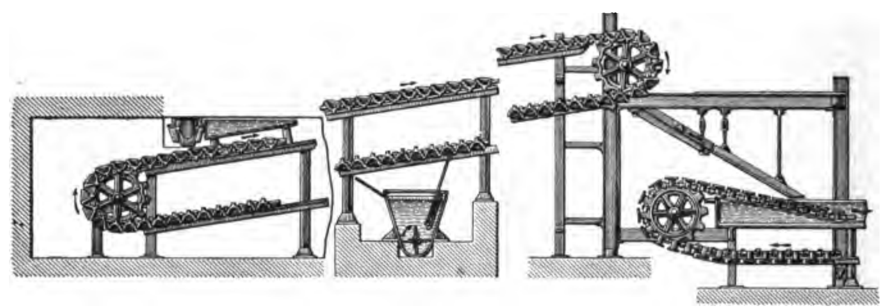


Abb. 221.

durch Ausblasen zu entfernen, dann stellt man aufs neue das Gebläse ab und reinigt nun mit langen eisernen Stangen (Rengeln) und Haken (Schaffhaken), welche unter dem Tümpel hindurch eingeschoben werden, den Herd von allen Ansätzen, füllt den vor dem Tümpel befindlichen Teil des Herdes mit Kohlenlösche, legt bei Öfen mit stärkerer Windpressung eine Gufseisenplatte darauf, um das Austreten der Gase unter dem Tümpel hervor unmöglich zu machen, schliefst das Stichloch durch einen Tonpfropfen und läfst nun erst das Gebläse wieder an.

Bei den Öfen mit geschlossener Brust bläst man auch während des Abstechens und fährt auch noch einige Zeit damit fort, nachdem das Roheisen ausgeflossen ist, um den Herd möglichst zu reinigen. Erst dann wird das Gebläse abgestellt, die Düsen werden zurückgezogen, die Formen nachgesehen, das Stichloch wird von etwa gebildeten Ansätzen gereinigt und mit einem Pfropfen aus feuerfester Masse oder Ton und Sand wieder geschlossen, worauf das Blasen aufs neue beginnt. Die Schlackenöffnung (Schlackenform) bei den Öfen mit geschlossener Brust wird so lange mit Ton

verschlossen gehalten, bis die Schlacke aufs neue zu den Formen emporgestiegen ist.

Das Schliefsen des Stichlochs geschah früher stets von Hand, indem man den Ton- oder Massepfropfen mit Hilfe einer hölzernen oder eisernen Stange einrammte; seit 1890 bedient man sich hierzu nicht nur auf amerikanischen, sondern auch auf deutschen Werken vielfach einer von dem Amerikaner Vaughan erfundenen und auf den Cambria Iron Works zuerst eingeführten Maschine[1]). In Abb. 222 und 223 a. f. S. ist eine solche von der Firma Dango und Dienenthal in Siegen erbaute Maschine dargestellt. *a* ist ein Dampfzylinder (oder Prefsluftzylinder), *b* ein Zylinder, welcher durch die oben befindliche Öffnung mit der zum Verschliefsen des Stichlochs bestimmten Masse gefüllt wird, *c* das konische Mundstück, durch welches die Masse in das Stichloch gedrückt wird, sobald man durch Zulassen von Dampf oder Prefsluft den Kolben des Zylinders *a* in Bewegung setzt. Zum Festhalten der Maschine in der richtigen Stellung dient die an einer der zum Tragen des Schachts dienenden Säulen befestigte oszillierende Dampfmaschine *d*, deren Kolbenstange durch Vermittlung eines Hebels und der wagerechten Welle *e* (Abb. 223) auf die beiden Arme *ff* drückt, welche die Maschine festhalten, wie in Abb. 222 erkennbar ist. Bei anderen Maschinen dieser Art dient statt der Dampfmaschinen ein ausreichend langer Handhebel zum Einstellen der Arme *ff*. Wenn die Arbeit beendet ist, wird die Festhaltung gelöst und die an an einem leichten Krane (Abb. 222) hängende Maschine zur Seite bewegt.

Nicht immer geht das Abstechen ohne Hindernisse von statten. Mitunter, zumal bei den Öfen, welche mit weniger hoch erhitztem Winde schmelzen, kommt es vor, dafs sich erstarrte Massen hinter dem Stichloche bilden, welche bei Handarbeit nur durch Bearbeitung mit meifselartig zugeschärften Stangen, die durch Hammerschläge eingetrieben werden, sich entfernen lassen. Nicht selten ist eine mehrstündige schwere Arbeit hierfür erforderlich. Verschiedene Mittel sind indes in der Neuzeit zur Anwendung gekommen, um jene mühsame Arbeit entbehrlich zu machen. Bisweilen hat man sich eines Knallgasgebläses bedient, um die erstarrten Massen zum Schmelzen zu bringen; erfolgreicher ist ein von Menne eingeführtes Verfahren[2]), bei welchem zuerst durch eine Knallgasflamme die Massen bis auf Weifsglut erhitzt, dann aber durch einen Sauerstoffstrom verbrannt werden, welcher unter einem Drucke von etwa 30 Atmosphären dagegen geleitet wird. Durch die Verbrennung des Eisens wird Wärme erzeugt, welche die entstehenden Oxyde zum Schmelzen bringt; die hohe Spannung des Sauerstoffs treibt sie aus der entstehenden Öffnung heraus, so dafs stets eine frische Angriffsfläche geboten wird. Das Brenngas (Wasserstoff, Petroleumgas u. a.) sowohl als der Sauerstoff kann aus Stahlzylindern entnommen werden, in denen es, auf etwa 100 Atmosphären zusammengedrückt, in den Handel kommt; die nach Art

---

1) „Stahl und Eisen“ 1896, S. 88.
2) Vergleiche Literatur.

eines Bunsenbrenners eingerichteten Brenner sind zum Schutze gegen rasches Abschmelzen mit Köpfen aus Carborund, Magnesitmasse

Abb. 222.

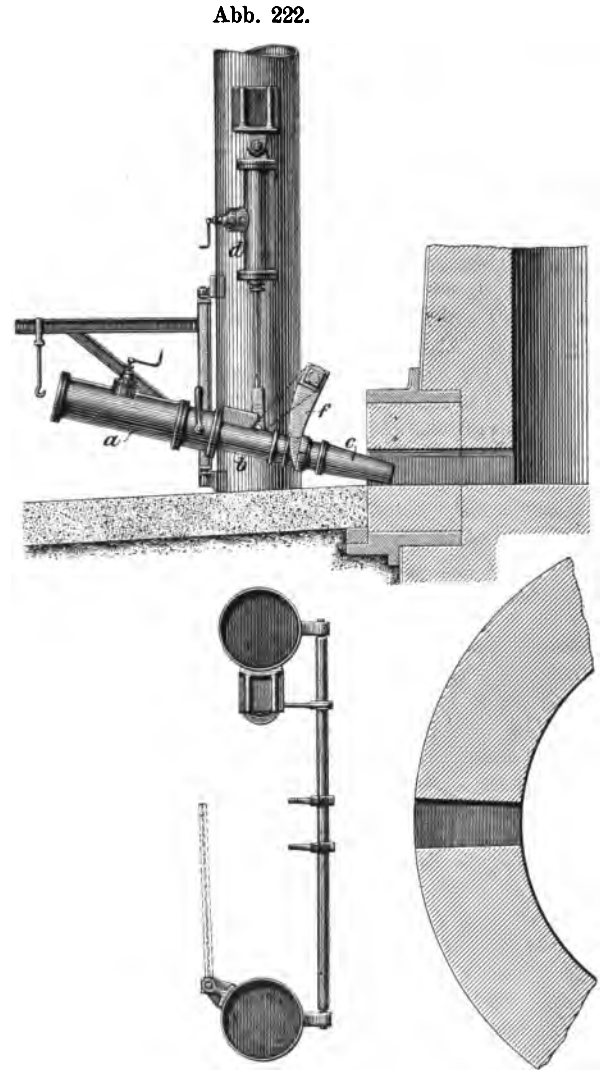


Abb. 223.

oder geprefster Kohle versehen [1]). Auf diese Weise gelingt es häufig, binnen wenigen Minuten das Hindernis zu beseitigen.

Auch die Wärme des elektrischen Lichtbogens hat man bisweilen zum Schmelzen des Ansatzes zur Anwendung gebracht [2]).

---

[1]) Abbildung: „Stahl und Eisen" 1903, S. 511.

[2]) „Stahl und Eisen" 1903, S. 629 (Schruff).

c) Arbeiten im Ofeninnern; Beseitigung von Gichtschwamm und Versetzungen.

Bisweilen kann es notwendig werden, auch im Innern des Ofens Arbeiten auszuführen. Bei den Öfen mit Blechmantel oder mit Rauhgemäuer kommt es vor, dafs Schachtsteine ausgewechselt werden müssen, an welche man wegen der Umhüllung des Schachtes nicht von aufsen gelangen kann; bei den Hochöfen, welche zinkische Erze verhütten, bildet sich in einiger Entfernung unterhalb der Gicht jener auf S. 376 I erwähnte, gröfstenteils aus Zinkoxyd bestehende Gichtschwamm, welcher von Zeit zu Zeit entfernt werden mufs, um nicht Betriebsstörungen zu verursachen. Zur Vornahme solcher Arbeiten gibt man einige schwächere Erzgichten als gewöhnlich, zuletzt zweckmäfsigerweise einige Schlackengichten und läfst dann die Beschickung, ohne weiter aufzugichten, bis zu der erforderlichen Tiefe niedergehen. Nun wird das Gebläse abgestellt, die Formen und sonstigen Öffnungen werden durch Tonpfropfen geschlossen, das Stichloch wird, nachdem der Herd entleert worden ist, bis weit in den Ofen hinein mit Kokslösche (Holzkohlenlösche bei Holzkohlenöfen) verstopft, und auf die Beschickungsoberfläche wird eine Decke feingepochter Hochofenschlacke geschüttet, um das Aufsteigen der kohlenoxydreichen Gase möglichst zu hindern. Beansprucht die erforderliche Arbeit längere Zeit, so ist es notwendig, durch eine oder mehrere auf der Gicht aufgestellte Saugmaschinen die Gase aus dem Schachte unmittelbar über der Beschickungsoberfläche abzusaugen. Auch ein öfterer Wechsel der im Schachte beschäftigten Arbeiter ist unumgänglich, um sie vor der längeren Einwirkung der Ofengase zu schützen. Auf diese Weise hat man selbst einen grofsen Teil der gesamten Schachtmauerung eines Hochofens erneuert, ohne diesen auszublasen[1]).

Besondere Schwierigkeiten bietet die Beseitigung von Versetzungen im Hochofen, die aus verschiedenen Veranlassungen entstehen können. Sehr strengflüssige Beschickungen, insbesondere sehr kalkerdereiche, geben ziemlich leicht die Veranlassung zur Entstehung solcher Versetzungen, wenn durch einen Zufall die Temperatur im Schmelzraume abnahm, oder wenn durch Unregelmäfsigkeiten beim Aufgichten oder beim Niedergehen der Gichten die schlackenbildenden Bestandteile in unrichtiger Mischung in den Schmelzraum gelangten[2]); bei Anthrazithochöfen kann die Neigung der Anthrazite, zu Staub zu zerfallen, und die Schwerverbrennlichkeit dieses Staubes eine Verstopfung des Ofens oberhalb der Formen durch einen aus Anthrazitstaub und halbgeschmolzener Schlacke gebildeten Klumpen veranlassen.

Solange in diesen Fällen die Versetzung noch nicht ein solches Mafs erreicht hat, dafs der Wind nicht mehr durchdringen kann, wird man alles daran setzen, die starren Massen durch Steigerung der Temperatur über den Formen zum Schmelzen zu

---

[1]) Vergleiche z. B. die unter Literatur aufgeführte Abhandlung von Burgers.

[2]) Versetzungen, durch Anhäufung ungeschmolzenen Kalkes entstanden, pflegt man das Kalkelend zu nennen.

bringen. Eine starke Verringerung des Erzsatzes, unter Umständen das Aufgeben mehrerer leerer Gichten (Brennstoffgichten ohne Erze), ist in jedem Falle am Platze, vermag aber allein nicht immer die Versetzung zu beseitigen, da der Ofen schon vollständig zugesetzt und erstickt sein kann, bevor die Gichten an der Stelle der Versetzung anlangen. Man mufs also danach trachten, tunlichst heifsen Wind einzuführen. Da aber die Gasmenge des kranken Ofens sich stetig verringert und gewöhnlich zur stärkeren Erhitzung des Windes nicht mehr ausreichen würde, hat man auf Werken, welche nur einen einzigen Hochofen betreiben, bisweilen Vorkehrungen getroffen, um durch Nachfeuern der Winderhitzer mit Petroleum oder sonstigen Brennstoffen von hohem Brennwerte das Ziel zu erreichen. Befindet sich die Versetzung in gröfserem Abstande über den Formen, so ist man bisweilen genötigt, eine oder mehrere besondere Formen in der betreffenden Höhe einzulegen, um die Stelle der gröfsten Wärmeentwicklung jener Versetzung zu nähern. Auch das Einlegen einer Form oberhalb der Versetzung, um hier Verbrennung und gröfsere Wärmeentwicklung hervorzurufen, ist mitunter von gutem Erfolge begleitet gewesen.

Als erfolgreich hat sich nicht selten die Einführung von Petroleum mit dem Gebläsewinde in den Ofen erwiesen. Oberhalb der Formenebene wird ein Behälter für das Petroleum in solcher Höhe angebracht, dafs der Druck der Flüssigkeit den Winddruck überwindet; ein Eisenrohr mit Hahn führt das Petroleum in die Düse, wo es verflüchtigt und weitergeführt wird. Die Temperatur im Ofen steigt dann rasch, und manche ernstliche Versetzungen sind durch dieses Mittel schon beseitigt worden.

Solange in solchen Fällen die Gase noch Durchgang finden, verringert sich, wenn man schwächere Gichten aufgegeben hat, von Stunde zu Stunde die Gefahr eines völligen Einfrierens; ist aber der Ofen bereits vollständig verstopft, so kann nur ein rasches und tatkräftiges Einschreiten noch Erfolg haben. Ein Aufbrechen des Ofens ist unerläfslich, um die erstarrten Massen (die Sau) zu beseitigen, sei es durch Einbringen von Kohlen, sei es durch Losbrechen mit eisernen Stangen.

Recht kräftige Mittel sind auf amerikanischen Eisenwerken mitunter zur Anwendung gebracht worden, um die Versetzungen zu zerstören. In mehreren derartigen Fällen hat man mit Anwendung von Pulver oder Dynamit, welcher, in Holzkästen verpackt, unter die Sau gebracht wurde, deren Sprengung erzielt; in einem anderen Falle wurde durch Kanonenschüsse aus einem aufrecht gerichteten Geschütze die Zertrümmerung bewirkt[1]). Auch in Deutschland hat neuerdings Dynamit erfolgreiche Anwendung zur Beseitigung von Versetzungen gefunden[2]).

Von sonstigen, vornehmlich durch Störung des Gleichgewichts in der Wärmeentwicklung und dem Wärmeverbrauche veranlafsten Unterbrechungen des regelmäfsigen Schmelzgangs und deren Be-

---

[1]) Vergleiche die unter Literatur aufgeführten Berichte in den Transactions of the American Institute of Mining Engineers.

[2]) Näheres hierüber: „Stahl und Eisen“ 1905, S. 1295.

seitigung wird unten bei Besprechung des Verlaufs des Hochofenschmelzens die Rede sein (vergleiche Gaargang und Rohgang).

d) Das Dämpfen und Ausblasen der Hochöfen.

Besondere Verhältnisse können es erforderlich machen, dafs der Gang des Hochofens auf einige Zeit — Tage oder auch Wochen — zum Stillstand gebracht wird, ohne dafs ein eigentliches Ausblasen stattfindet, welches immerhin die Erneuerung der Ofenzustellung und ein kostspieliges Wiederanblasen erforderlich macht. Dieser Fall kann z. B. eintreten, wenn durch äufsere Vorkommnisse — Krieg, Unwetter oder dergleichen — die Zufuhr der Rohstoffe auf einige Zeit abgeschnitten ist; wenn Arbeitsausstände stattfinden, und dergleichen mehr. Man schreitet dann zum Dämpfen des Hochofens. Hat man die ausreichende Zeit, so gibt man wohl einige leere Gichten, welche bei aschenreichen Brennstoffen nur mit so viel Kalkstein beschickt werden, als zur Verschlackung der Asche notwendig ist, und nach ihnen Gichten mit leichten Erzsätzen. Sind die leeren Gichten vor den Formen angelangt, so wird abgestochen und der Herd tunlichst von allen zurückgebliebenen Körpern gereinigt. Das Gebläse wird abgestellt, das Stichloch wird bis in den Ofen hinein mit Kokslösche verstopft, die Düsen werden zurückgezogen oder ganz entfernt, und die Formöffnungen werden durch Tonpfropfen geschlossen, auch alle Fugen gut verstrichen. Kühlwasser wird nur noch in schwachem Mafse zugelassen, in den höher gelegenen Kühlkästen auch wohl ganz abgestellt. Bemerkt man, dafs die Oberfläche der Beschickung gesunken ist, so füllt man frischen Brennstoff nach, oder man bedeckt sie mit Rasen, den man mit Ton bestreicht, um luftdichten Abschlufs zu erzielen. Auf diese Weise läfst sich ein Ofen Wochen hindurch dämpfen und dann in verhältnismäfsig kurzer Zeit wieder in regelrechten Betrieb setzen. Nach dem Wiederbeginne des Betriebes wird anfänglich schwach geblasen, um nicht gröfsere Mengen unreduzierter Erze in den Schmelzraum zu führen, bis der Ofen seine erforderliche Temperatur wieder erlangt hat. Im Jahre 1889 mufsten in Rheinland-Westfalen wegen des Ausstandes der Kohlenbergleute verschiedene Hochöfen auf diese Weise gedämpft werden und blieben zum Teil drei Wochen aufser Betrieb[1]); in den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts wurde ein Siegländer Hochofen sogar mehrere Monate lang gedämpft und lieferte bereits 20 Stunden nach Wiederaufnahme des Betriebes Roheisen von guter Beschaffenheit[2]).

Soll wegen allzu ausgedehnter Beschaffenheit der Ofenzustellung, welche eine fortgesetzte Benachteiligung des Ofenganges zur Folge hat, der Ofen neu zugestellt werden, oder soll aus irgend einem anderen Grunde der Hochofenbetrieb eingestellt werden, so erfolgt das Ausblasen des Hochofens.

An und für sich ist diese Arbeit einfach. Man hört mit Auf

[1]) Näheres hierüber: „Stahl und Eisen" 1889, S. 991.
[2]) Persönliche Mitteilung.

gichten auf, bläst so lange, bis vor den Formen keine schmelzenden Massen mehr erscheinen, sticht das flüssige Roheisen und die Schlacke ab, bricht dann den Ofen unten auf (durch Entfernung des Wallsteins oder, bei geschlossener Brust, eines Gestellsteines), räumt mit langen Eisenkrücken die noch im Innern befindlichen glühenden, halbgeschmolzenen Massen aus und läfst ihn erkalten.

Beim Niederblasen aber entwickelt sich aus der Gicht des Ofens eine immer länger und heifser werdende Flamme, da die aufsteigenden Gase nicht mehr von frisch aufgeschütteten Körpern abgekühlt werden und die Widerstände, welche der Wind im Ofen findet, sich immer mehr verringern. Die Gichtverschlüsse müssen, um vor Zerstörung durch die Flamme bewahrt zu bleiben, abgenommen oder durch Bespritzen mit Wasser geschützt werden. Läfst man die Beschickung bei geöffneter Gicht niedergehen, so wird die Flamme allmählich so stark, dafs es üblich ist, zuvor in der ganzen Umgebung Kunde davon zu geben, damit nicht bei Nacht durch den weithin leuchtenden Feuerschein Feueralarm entstehe.

Die Entwicklung dieser Flamme läfst sich durch ein einfaches Mittel hintertreiben, welches seit 1850 mehrere Jahrzehnte hindurch ziemlich häufig zur Anwendung gebracht wurde; sobald die Flamme anfängt, gröfser zu werden, schüttet man Kalkstein nach, und man wiederholt dieses Nachschütten so oft, als es erforderlich erscheint, bis das Ausblasen beendet ist[1]). Der untere Raum des Ofens füllt sich hierdurch mit gebranntem, unschmelzbarem Kalk, welcher später ausgeräumt wird und zur Mörteldarstellung benutzt werden kann. Die Abkühlung des ausgeblasenen Ofens wird indes dadurch verzögert; durch vorzeitiges Aufbrechen sind schon Unglücksfälle entstanden, indem die Arbeiter mit dem glühenden Kalk überschüttet wurden, und die Kalkfüllung ist nicht gleichmäfsig gebrannt. Daher ist das Verfahren nicht mehr häufig in Anwendung.

2. Der chemische und physikalische Verlauf des Hochofenschmelzens.

a) Die allgemeinen Vorgänge im Hochofen.

Drei Vorgänge sind es vornehmlich, auf denen die Umwandlung der in die Gicht eingeschütteten Erze in flüssiges Roheisen und flüssige Schlacke beruht: Reduktion des Eisens und der sonstigen aus den Erzen in das Roheisen übergehenden Körper, Kohlung und Schmelzung. Ehe aber die Reduktion beginnen kann, mufs das aufgeschüttete Erz auf die Reduktionstemperatur erwärmt werden; von der ganzen Höhe des Ofens kommt also ein gewisser Teil von der Gicht abwärts für diese Vorwärmung in Benutzung.

Irrig würde es jedoch sein, wenn man hieraus die Vorstellung ableiten wollte, als folgten jene Vorgänge nun, scharf voneinander getrennt, einer auf den andern, so dafs man sich das Ofeninnere

---

[1]) Nach Valton ist das Verfahren zuerst bei den Holzkohlen-Hochöfen zu Berry angewendet worden.

in einzelne Abteilungen oder Zonen zerlegt denken könne, von denen eine jede nur einem bestimmten jener Vorgänge dient. Ein Erzstück, welches im Innern noch Feuchtigkeit enthält, kann bereits an der Aufsenfläche durch den reduzierend wirkenden Gasstrom beeinflufst werden, wenn auch das Mafs der stattfindenden Reduktion noch unbedeutend und die Entstehung metallischen Eisens vorläufig unmöglich ist. Auch die Aufeinanderfolge der Reduktion und Kohlung darf man sich keineswegs so vorstellen, dafs ein Stück Eisenerz erst vollständig zu metallischem Eisen reduziert werde, bevor die Kohlung beginnen könne. Beide Vorgänge gehen Hand in Hand und schreiten von der Aufsenfläche des Erzes nach innen fort. Äufserlich kann schon kohlenstoffhaltiges Eisen vorhanden sein, während der Kern noch sauerstoffhaltig ist. Die Reduktion aber setzt sich regelmäfsig oder doch in den allermeisten Fällen, auch nachdem bereits Schmelzung eingetreten ist, unter Einwirkung der weifsglühenden Kohlen auf die Schlacke fort; oder mit anderen Worten: ein Teil des Eisens wird unreduziert verschlackt und aus der Schlacke erst im unteren Teile des Hochofens durch Kohlenstoff reduziert.

Man darf fernerhin nicht aufser Betracht lassen, dafs die Erze und Brennstoffe nicht etwa in wagerechten Schichten und in der Anordnung, welche sie beim Aufgichten erhielten, abwärts gleiten, sondern ihre Lage und Anordnung um so mehr verändern, je weiter sie nach unten gelangen. An den Wänden entsteht Reibung, und die Bewegung der niederrückenden festen Körper ist deshalb hier langsamer als in der Mitte. Aus den ursprünglich flachen Schichten werden auf diese Weise Trichter; die dichteren und weniger rauhen Bestandteile der Beschickung aber, also die Erze und Zuschläge, streben der tiefsten Stelle des Trichters zu und gelangen deshalb früher nach unten als die gleichzeitig aufgeschütteten Brennstoffe.

Für dieses Voraneilen der schwereren Bestandteile der Beschickung erhält man im Betriebe nicht selten Beweise. Aus dem Rauminhalte des Ofens und dem Rauminhalte der einzelnen Gichten läfst sich annähernd berechnen, wie viele Gichten der Ofen fafst; aus der Zahl der in 24 Stunden durchgesetzten Gichten kann man demnach ermitteln, wie lange durchschnittlich eine Gicht im Ofen verweilt. Gibt man einmal besonders schwere Körper, z. B. Roheisenstücke, mit den Erzen auf, so gelangen diese früher vor den Formen an, als der Rechnung entspricht; sperrige Körper von geringem Gewicht dagegen werden an den Wänden zurückgehalten und kommen bisweilen mehrere Tage zu spät [1]). Auch durch den unmittelbaren Versuch ist die Trichterbildung erwiesen, indem man senkrechtstehende, mit einem Fufse versehene Eisenstangen sowohl in der Mitte des Ofens als am Rande mit der Beschickung niedergehen liefs und dann nach Verlauf bestimmter Zeit ermittelte, wie viel der Niedergang an beiden Stellen betragen hatte [2]).

---

1) Ich entsinne mich eines derartigen, bei einem Holzkohlenhochofen ausgeführten Versuchs, wobei man Tannenzapfen den Holzkohlen beigemischt hatte. Nach Wochen gelangten noch vereinzelte Tannenzapfen vor die Formen.

2) Berg- und hüttenmänische Zeitung 1865, S. 398, 425, 440 (Wepfer).

Schon bei Besprechung der Gichtgasfänge wurden die Nachteile einer solchen Entmischung, d. h. einer Anhäufung der Erze nach der Achse des Ofens hin, der Kohlen an den Wänden, erwähnt und zugleich darauf hingedeutet, wie man imstande sei, durch ein geeignetes Verfahren des Aufgichtens jener Entmischung entgegenzuwirken; die Trichterbildung aber bleibt immerhin durch die Art des Aufgichtens unbeeinflufst.

Die Reduktion der Erze wird teils durch Kohlenoxyd, teils durch feste Kohle bewirkt. Auf S. 311 I wurde rechnungsmäfsig der Beweis geliefert, dafs der Wärmeverbrauch für den Vorgang der Reduktion gröfser ist, wenn Kohle als wenn Kohlenoxyd das Reduktionsmittel bildet. Unter übrigens gleichen Verhältnissen gebraucht demnach ein Hochofen um so weniger Brennstoff zur Deckung seines Wärmebedarfs, je vollständiger die Erze durch Kohlenoxyd, je weniger sie durch feste Kohle reduziert werden.

Reduktion durch Kohlenoxyd aber kann nur so lange stattfinden, als die Erze nicht geschmolzen und dabei verschlackt sind; von dem Augenblicke des Schmelzens an mufs die Reduktion durch Kohlenstoff an ihre Stelle treten. Hieraus folgt, dafs jenes Ziel, möglichste Ausdehnung der Reduktion durch Kohlenoxyd, um so leichter erreichbar ist, je rascher beim Aufsteigen der Gase die vor den Formen des Hochofens zur Durchführung des Schmelzens erforderliche hohe Temperatur unter jene Grenze sinkt, wo die Schlackenbildung und die Aufnahme des noch nicht reduzierten Eisens durch die Schlacke beginnt. Der durch die Formen eintretende Sauerstoff aber mufs rasch verschwinden und darf vor den Formen nur Kohlenoxyd, nicht Kohlendioxyd, bilden, damit in der hohen Temperatur nicht Oxydation statt Reduktion stattfinde; beim Aufsteigen der Gase kann alsdann ihr Gehalt an Kohlendioxyd um so mehr zunehmen, je mehr ihre Temperatur sich vermindert, ohne dafs sie ihre Fähigkeit, reduzierend zu wirken, einbüfsen (S. 43 I).

Die Aufgabe des dem Hochofen zugeführten Brennstoffs erstreckt sich demnach in zwei verschiedenen Richtungen. Er soll durch seine Verbrennung die zur Durchführung des Schmelzverfahrens notwendige Wärmemenge liefern und die dafür erforderliche Temperatur entwickeln; er soll aber auch, indem er zunächst ausschliefslich zu Kohlenoxyd verbrannt wird, den Stoff liefern, welcher bei Aufsteigen im Ofen die Reduktion der niederrückenden Erze bewirkt. Nicht mit Unrecht hat man den Eisenhochofen einen Gaserzeuger vollkommenster Art genannt, in welchem die erzeugten Gase sofort zur Reduktion der Eisenerze Benutzung finden, die bei der Gaserzeugung entwickelte Wärme aber zum Schmelzen des Roheisens nebst Schlacken sowie zur Deckung des sonstigen Wärmebedarfs (Zerlegung von Carbonaten, Verdampfung von Feuchtigkeit usw.) verbraucht wird [1]). Das bei jenem Reduktionsvorgange entstehende Kohlendioxyd aber soll so wenig als möglich wieder zu Kohlenoxyd reduziert werden; denn jedes Gewichtsteil Kohlenstoff, welches im oberen Teile des Hochofens durch Kohlendioxyd verbrannt und dem Ofen hierdurch entführt wird, geht

[1]) Dinglers polytechnisches Journal, Band 195 S. 255 (Lürmann).

seiner Bestimmung verloren. Je weniger fester Brennstoff zur Reduktion des Erzes und zur Reduktion von Kohlendioxyd verbraucht und hierdurch jener Aufgabe, Wärme zu entwickeln, entzogen wird, desto günstiger gestaltet sich die Leistung des Hochofens.

to here

b) Die Veränderungen der festen Körper bei ihrem Niedergange im Hochofen.

Man hat diese Veränderungen ermittelt, indem man durchlöcherte Kapseln aus Eisenblech mit Probestücken der Körper füllte, deren Verhalten man prüfen wollte, sie an je einer Stange befestigte und mit der Beschickung im Hochofen niedergehen liefs. Aus verschiedenen Tiefen wurden sie emporgezogen, um dann untersucht zu werden[1]).

Bald nach dem Aufschütten der Körper in die Gicht des Hochofens beginnt die Verdampfung der von ihnen mitgebrachten Feuchtigkeit. Aber auch gebundenes Wasser (Hydratwasser), an welchem vornehmlich die Brauneisenerze reich sind, wird ziemlich rasch ausgetrieben. Einige Brauneisenerze zerfallen schon bei einer Temperatur, welche wenig über 100° C. hinausgeht; andere werden erst bei 400 bis 500° C. vollständig zersetzt. Bei Versuchen, von Ebelmen mit Bohnerzen angestellt, welche im Hochofen der Einwirkung der warmen Gase ausgesetzt wurden, ergab sich, dafs der Wassergehalt der Erze in einer Tiefe von 2,5 m unterhalb der Gicht und in einer Temperatur unter Rotglut sich während zweier Stunden auf etwa ein Drittel der ursprünglichen Menge verringert hatte, in einer Tiefe von 4,8 m dagegen in dunkler Rotglut — also bei einer Temperatur von ungefähr 500° C. — nach Verlauf von 4½ Stunden annähernd vollständig ausgetrieben war[2]). Für diese Wasserverdampfung wird Wärme verbraucht, und die Folge hiervon ist eine Erniedrigung der Temperatur in der Gicht. Die bedeutenden Schwankungen dieser Temperatur vor und nach dem Aufgichten, welche sich bei manchen Hochöfen beobachten lassen und mitunter mehr als 100 Grade betragen, finden hierin ihre Erklärung. Auch die durchschnittliche Gichttemperatur ist unter übrigens gleichen Verhältnissen niedriger, wenn wasserreiche als wenn trockene Erze verhüttet werden. Noch andere Verhältnisse sind freilich für die Höhe der Gichttemperatur mafsgebend. Je gröfser die Wärmemenge ist, welche schon in den tiefergelegenen Teilen des Ofens für die verschiedenen Vorgänge gebraucht wird, und je langsamer die Gase im Hochofen aufsteigen, je geringer also ihre Menge im Verhältnisse zu dem Querschnitte des Ofens ist, desto abgekühlter verlassen sie den Ofen. Während daher jene Durchschnittstemperatur an der Gicht bei einzelnen Hochöfen, z. B. bei Holzkohlenhochöfen, welche Rasenerze oder sonstige wasserreiche Brauneisenerze verhütten,

---

1) Näheres hierüber in den unter Literatur genannten Arbeiten Tunners, Kupelwiesers und Schöffels.

2) Trav. Scient. II, S. 185; daraus in Percy-Wedding Eisenhüttenkunde, 1. Aufl. Abt. II, S. 659.

nicht erheblich über 50° C. hinausgeht, erreicht sie bei anderen eine Höhe bis zu 400° C. und mitunter noch darüber.

Die Rücksicht auf jenen erheblichen Wärmeverbrauch für die Verflüchtigung des Wassergehaltes der Brauneisenerze bildete früher nicht selten eine Veranlassung, sie zu rösten, auch wenn ein sonstiger Grund dafür nicht vorlag. Man glaubte Brennstoff im Ofen sparen zu können, indem man den Wärmeverbrauch durch die vorausgehende Röstung verringerte. Die Beobachtungen beim Betriebe haben jedoch jene Erwartung nur ausnahmsweise gerechtfertigt. Die Gichttemperatur steigt bei der Verwendung gerösteter statt ungerösteter Erze, d. h. die Gichtgase führen eine entsprechend reichlichere Wärmemenge aus dem Ofen davon. Unmittelbar findet also keine Ersparung an Wärme statt. Nun läſst sich zwar vermuten, daſs mittelbar eine Beeinflussung des Schmelzganges insofern stattfinden könne, als in dem Ofen mit wärmerer Gicht die Reduktion der Erze frühzeitiger beginnt und demnach die Erze der Reduktionswirkung des Gasstromes länger ausgesetzt bleiben als in dem Ofen mit kälterer Gicht; da aber gerade die Brauneisenerze leicht reduzierbar zu sein pflegen, bleibt auch dieser Umstand meistens ohne Belang. Nur bei sehr kleinen Hochöfen läſst sich ein mäſsiger Nutzen von der Anwendung gerösteter Brauneisenerze erwarten, zumal wenn man erwägt, daſs doch auch die Arbeit des Röstens Kosten verursacht.

Bei einer Temperatur von ungefähr 300° beginnt die Reduktion der Erze durch den Kohlenoxydgehalt des aufsteigenden Gasstromes; aber die Menge des abgegebenen Sauerstoffs bleibt unbedeutend, solange die Erze nicht in einen wärmeren Teil des Ofens einrücken. Daſs metallisches Eisen erst bei ungefähr 800° C. entstehen könne, ist schon bei der allgemeinen Besprechung des Verhaltens der Eisenoxyde gegen reduzierende Einflüsse (S. 310 I) erwähnt worden. Verweilen die Erze längere Zeit in einer Temperatur von ungefähr 400°, so wird Kohlenstoff auf ihnen abgelagert (S. 313 I).

Enthält die Hochofenbeschickung Carbonate, also ungeröstete Spateisenerze, Sphärosiderite oder ungerösteten Kalkstein, so werden diese zersetzt, wenn sie beim Niedergange in denjenigen Teil des Ofens gelangt sind, wo die zur Zersetzung erforderliche Temperatur herrscht. Die angestellten Ermittlungen über die zur Zersetzung der Eisencarbonate erforderliche Temperatur stimmen nicht ganz überein, vermutlich deshalb nicht, weil die äuſsere Beschaffenheit und die Stückgröſse dieser Erze hierbei mitsprechen. Nach Åkerman werden feinzerteilte Spate schon bei 300 bis 400° zersetzt[1]); Schinz dagegen fand, daſs die Zersetzung und Reduktion der Spateisensteinerze in einem Gasstrome, welcher etwa 34 v. H. Kohlenoxyd neben Stickstoff enthielt, erst in Temperaturen, welche nahe an 800° C. lagen, begann[2]). Der früher (S. 252 I) erwähnte Einfluſs der Röstung auf die Reduzierbarkeit der Spateisensteinerze und Sphärosiderite macht es wahrscheinlich, daſs die Zersetzung

[1]) R. Åkerman, Das Rösten der Eisenerze, S. 2.
[2]) Dokumente, betreffend den Hochofen, S. 70.

doch in der Regel erst in höherer Temperatur vor sich geht, als Åkerman beobachtete.

Kalkstein wird nach allen vorliegenden Beobachtungen erst bei 900° C. allmählich zersetzt. Schöffel fand, dafs eine kalkspathaltige Erzprobe, deren Kohlensäuregehalt ursprünglich 12,11 v. H. gewesen war, noch 5,01 v. H. Kohlensäure enthielt, also mehr als ein Drittel der ursprünglichen Menge, nachdem das Erz im Hochofen der Einwirkung des aufsteigenden Gasstromes in einer Temperatur von etwa 900° C. ausgesetzt gewesen war[1]).

Zur Zerlegung der Carbonate wird ebenfalls Wärme verbraucht. Nach Jordan sind zur Zerlegung von 1 kg $CaCO_3$ 447 W.-E., zur Zerlegung von 1 kg $FeCO_3$ 130 W.-E. erforderlich[2]). Wenn trotzdem eine vorausgehende Röstung des Kalksteines sich fast immer als wenig nutzbringend für den Hochofenbetrieb erwiesen hat[3]), so läfst sich dieser Umstand durch verschiedene Ursachen erklären. Einesteils nimmt gebrannter Kalk, wenn er nicht unmittelbar nach dem Brennen aufgegichtet wird, sondern, wie es mitunter geschieht, erst tage- oder wochenlang den Einflüssen der Atmosphärilien preisgegeben lagert, sehr bald Wasser und später auch Kohlensäure auf; der Zweck des Brennens geht also ganz oder doch zum grofsen Teile wieder verloren, wie schon auf S. 252 I erwähnt wurde. Andernteils kann jene Temperaturerniedrigung, welche bei Anwendung rohen Kalksteins durch den Wärmeverbrauch für die Zersetzung des Carbonates und durch die hierbei stattfindende Vermehrung der Gasmenge hervorgerufen wird, in solchen Fällen den Verlauf des Hochofenschmelzens sogar günstig beeinflussen, wo durch Aufsteigen der Schmelztemperatur in eine Gegend des Ofens, in welcher noch beträchtliche Mengen unreduzierter Erze vorhanden sind, deren vorzeitige Verschlackung herbeigeführt werden würde. Der Eisenhüttenmann nennt diese Erscheinung Oberfeuer; die Folge der vorzeitigen Verschlackung der Erze ist ein Mehraufwand fester Kohle für die Reduktion (statt des Kohlenoxyds) und dadurch ein Mehrverbrauch an Wärme und Brennstoff. Dieser Umstand erklärt es jedenfalls auch, dafs selbst eine teilweise Anwendung ungerösteter Spateisensteine und Sphärosiderite mitunter sich als förderlich für den Verlauf des Hochofenschmelzens erwiesen hat.

Wird der Hochofen ganz oder teilweise mit unverkohlten Brennstoffen gespeist, so findet auch bei deren Niedergange Zer-

---

[1]) Jahrbuch der k. k. Bergakademien, Band 21, S. 194.

[2]) Revue universelle des mines. Reihe 3, Band 31 (Jahr 1895), S. 6.

[3]) Vgl. unter Literatur die diesen Gegenstand betreffende Abhandlung von L. Bell. Versuche, die von mir bei einem kleinen Holzkohlenhochofen über das Verhalten des rohen und gerösteten Kalksteines angestellt wurden, liefsen das Rösten als zwecklos erscheinen. In anderen Fällen hat man eine geringe Vermehrung der Roheisenerzeugung oder eine Abminderung des Brennstoffverbrauchs bei Anwendung gebrannten Kalkes statt rohen Kalksteines beobachtet; selten aber sind die erlangten Vorteile so erheblich gewesen, dafs sie nicht durch die Kosten des Brennens wieder ausgeglichen worden wären. Dagegen will Cochrane bei einem Hochofen des Cleveländer Bezirkes durch Anwendung gebrannten Kalkes Brennstoff gespart und sonstige Vorteile erlangt haben. (The Journal of the Iron and Steel Institute 1889 II, S. 388; 1898 I, S. 69)

setzung statt. Die Zersetzung rohen Holzes beginnt schon bei etwa 150° C., und ist bei 400° C. ziemlich beendigt, obschon kleine Mengen Wasserstoff noch in heller Rotglut zurückgehalten und vermutlich erst bei der Verbrennung der Kohle vollständig verflüchtigt werden. Die Zersetzung der Steinkohlen geht in einer Temperatur vor sich, welche nach der Beschaffenheit der Kohlen verschieden sein kann, jedenfalls aber höher liegt als die Zersetzungstemperatur des Holzes. Auch dieser Vorgang ist mit einem Wärmeverbrauche und einer Erniedrigung der Temperatur im Hochofen verknüpft.

Die Temperatur, wo nun die Sinterung der nicht reduzierten Bestandteile der Erze und Zuschläge ihren Anfang nimmt, ist verschieden und sowohl von der mineralogischen Beschaffenheit der einzelnen Stücke als von der chemischen Zusammensetzung der gesamten Beschickung abhängig. In ersterer Beziehung kommt der Umstand in Betracht, dafs manche Bestandteile der Beschickung — Quarz, Kalk, Magnesia u. a. m. — an und für sich unschmelzbar sind, die Sinterung also erst vor sich gehen kann, wenn zugleich eine Vereinigung mehrerer Körper stattfindet. Da aber diese Vereinigung, d. i. die Schlackenbildung, eine höhere Temperatur verlangt als diejenige, bei welcher die fertig gebildete Schlacke flüssig wird (S. 210 I), und eine um so länger fortgesetzte gegenseitige Einwirkung nötig macht, je weniger hoch die im Ofen herrschende Temperatur über der Schmelztemperatur der fertigen Schlacke liegt, können Gemenge von Erzen und Zuschlägen, die chemisch ähnlich zusammengesetzt sind, dennoch in jener Beziehung sich abweichend verhalten, je nachdem die äufsere Form ihrer Bestandteile die Vereinigung mehr oder weniger erleichtert. Enthielt z. B. die Beschickung Silikate, also bereits fertig gebildete, schmelzbare Verbindungen, so wird die Sinterung frühzeitiger beginnen, als wenn die Bestandteile dieser Silikate im getrennten Zustande, d. h. als selbständige Körper, zugegen waren; das schmelzende Silikat aber löst verhältnismäfsig leicht auch noch andere Bestandteile der Beschickung auf und bringt sie hierdurch zum Schmelzen. Ein Eisenerz, welches mit feinverteiltem Quarz durchwachsen, dicht und der Reduktion schwer zugänglich ist, wird, wenn es im unvollständig reduzierten Zustande einer höheren Temperatur ausgesetzt wird, Neigung zeigen, zu verschlacken; ein anderes Erz von der nämlichen chemischen Zusammensetzung, dessen Kieselsäuregehalt aber aus Anhäufungen einzelner grober Quarzkristalle besteht, welche wenig Berührung mit dem Eisengehalte oder den sonstigen Bestandteilen der Erzstücke besitzen, wird einer länger fortgesetzten Erhitzung bedürfen, um verschlackt zu werden. Letzteres Erz bleibt demnach im Hochofen längere Zeit als ersteres im ungeschmolzenen Zustande der reduzierenden Einwirkung des Gasstromes ausgesetzt; die entstehende Schlacke ist eisenärmer, das Mafs der Reduktion durch Kohlenstoff geringer. Lehrreich sind in dieser Beziehung einige durch Schinz angestellte Versuche über das Verhalten von Erzen abweichender Beschaffenheit beim Erhitzen auf verschiedene Temperaturen im kohlenoxydhaltigen Gasstrome. Als er quarzhaltige Erzstücke dieser Einwirkung aussetzte, beobachtete er, dafs

schon bei 800° C. Eisensilikat im weich gewordenen Zustande sich durch die Erze verteilte; bei Anwesenheit von Kalk war dies weniger der Fall; der Kalk verschwand zum Teil und durchdrang die Erzstücke, diese aufschwellend, ohne ihre Form zu verändern, und die so durchdrungenen Erze waren porig und leicht zerdrückbar [1]).

In Rücksicht auf diesen Einflufs, welchen die physikalische Beschaffenheit der schlackenbildenden Körper auf die Entstehungstemperatur ausübt, haben auch die früher mitunter angestellten Versuche, die Entstehungstemperatur einer Schlacke durch Zusammenschmelzen der gemischten Einzelbestandteile zu ermitteln [2]), geringen Wert. Beim Hochofenschmelzen tritt der Umstand hinzu, dafs die Zusammensetzung der entstehenden Schlacke, aus welcher unter der reduzierenden Einwirkung der weifsglühenden Kohle in dem unteren Teile des Hochofens noch verschiedene Bestandteile, insbesondere Eisenoxydul und Manganoxydul, austreten, anders ist als diejenige der schliefslich aus dem Ofen ausfliefsenden Endschlacke. Man ist daher nicht berechtigt, aus der Zusammensetzung der letzteren auf ihre Entstehungstemperatur zu schliefsen; diese Entstehungstemperatur liegt in der Regel tiefer, als wenn die Schlacke bereits ebenso wie bei Beendigung des Schmelzens zusammengesetzt wäre.

Während dieser Sinterung der schlackenbildenden Körper hat das reduzierte Eisen aus den glühenden Kohlen mehr und mehr Kohlenstoff aufgenommen und dadurch seine Schmelztemperatur erniedrigt; es beginnt ebenfalls zu schmelzen (Schmelztemperatur 1100 bis 1200°).

Je weiter aber die schmelzenden Massen nach unten rücken, einer desto höheren Temperatur werden sie ausgesetzt, desto stärker wird die reduzierende Kraft des Kohlenstoffs (S. 41 I). Aus der schon gebildeten Schlacke wird bei ihrer Berührung mit den weifsglühenden Kohlen noch Eisen reduziert; basische Beschaffenheit der Schlacke befördert die Eisenreduktion, da das Eisenoxydul als basischer Körper um so leichter aus der Schlacke austritt, je höher ihr sonstiger Basengehalt ist.

Eine noch kräftigere Base und schwerer reduzierbar als Eisenoxydul ist Manganoxydul; metallisches Mangan kann überhaupt nur durch Kohle, nicht schon in den höheren Teilen des Hochofens durch Kohlenoxyd, reduziert werden. Basische Beschaffenheit der Schlacke ist demnach für die Reduktion reichlicher Mengen Mangan von noch gröfserer Bedeutung als für die Reduktion des Eisens. Weil aber das Eisen leichter reduzierbar ist als das Mangan, kann dieses überhaupt erst nach dem Eisen aus der Schlacke reduziert werden. Eine eisenoxydulreiche Schlacke würde auf metallisches Mangan oxydierend wirken und in Berührung mit manganreichem Roheisen ihren Eisengehalt gegen Mangan austauschen.

---

[1]) Dokumente, betreffend den Hochofen, S. 78.

[2]) Jahrbuch für Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1879, S. 168.

Mit dem Eisen wird Phosphor aus der Schlacke reduziert, welcher, wie das Mangan, nur durch Kohle reduzierbar ist. Hierfür ist ein hoher Kieselsäuregehalt der Schlacke förderlich, weil die Phosphorsäure in basischen Schlacken stärker als in sauren gebunden ist; aber das starke Vereinigungsbestreben des Phosphors zum Eisen erklärt es, dafs auch aus stark basischen Schlacken die überwiegend gröfste Menge des Phosphors reduziert wird. Mit dem in der Schlacke unreduziert zurückbleibenden Eisenoxydulgehalte [1]) steigt und fällt auch der reduziert zurückbleibende Phosphorgehalt. Hohe Temperatur ist der Reduktion beider Körper günstig. Dafs auch ein Teil des Phosphorgehalts der Beschickung verflüchtigt werde, ist mehrfach behauptet worden, aber die Nachweisung von Phosphor in den entweichenden Gasen ist bislang nicht gelungen [2]).

Ähnliche Umstände beeinflussen die Reduktion des Siliciums. Aber das Silicium ist noch schwerer reduzierbar als Phosphor, und obschon eine hochgetriebene Temperatur im Schmelzraume seine Reduktion befördert und es ermöglicht, dafs selbst stark basische Schlacken Silicium an das Eisen abgeben, bleibt immerhin das Verhältnis der in der Schlacke unreduziert zurückbleibenden Kieselsäure zu der als Silicium austretenden erheblich. Eine Schlacke, aus welcher die Kieselsäure annähernd vollständig ausgeschieden wäre, würde ohnehin unschmelzbar sein. Nicht möglich ist auch die Reduktion des Siliciums, solange noch Eisenoxydul in gröfserer Menge anwesend ist. Selbst ein gröfserer Manganoxydulgehalt der Schlacke vermag die Reduktion des Siliciums zu hindern, um so mehr, je stärker basisch die Schlacke ist. Das Mangan ist, zumal bei Anwesenheit einer basischen Schlacke, der leichter reduzierbare Körper, und das Manganoxydul unterliegt deshalb früher als Kieselsäure den reduzierenden Einflüssen.

Enthielt die Beschickung Zink, so wird dieses in einer Temperatur von 1100° reduziert und, da es nur geringe Fähigkeit besitzt, mit dem Eisen sich zu legieren, auch jene Reduktionstemperatur höher liegt als seine Verdampfungstemperatur, von dem aufsteigenden Gasstrome mitgenommen. Die Reduktion und Verdampfung des Zinks aber erheischt einen reichlichen Aufwand an Wärme [3]); gelangt daher durch Zufall (z. B. durch Abbröckeln zinkischer Anbrüche vom Ofenmauerwerk) einmal mehr Zink nach unten als bei regelmäfsigem Schmelzgange, so ist eine Temperaturerniedrigung im Schmelzraume die Folge davon. In dem oberen

---

[1]) Eine höhere Oxydationsstufe des Eisens als Eisenoxydul kann in der entstehenden Schlacke überhaupt nicht mehr zugegen sein, nachdem die niederrückenden Erze unausgesetzt den reduzierenden Einflüssen des aufsteigenden Gasstroms ausgesetzt gewesen waren und der gröfste Teil ihres Eisengehalts bereits zu Metall reduziert wurde.

[2]) „Stahl und Eisen" 1884, S. 3; 1892, S. 1011.

[3]) Die Verbrennungswärme des Zinks beträgt nach Favre und Silbermann 1291 W.-E. Zur Reduktion von 1 kg Zink aus Zinkoxyd sind $^{16}/_{65}$ kg Kohlenstoff erforderlich ($ZnO + C = Zn + CO$), durch deren Verbrennung $^{16}/_{65} \times 2470 = 600$ W.-E. entwickelt werden; daher der Wärmeverbrauch für die Reduktion von 1 kg Zink $1291 - 609 = 628$ W.-E. Hierzu kommt die Verdampfungswärme, deren Mafs nicht bekannt ist. Porter nimmt dafür 200 W.-E. an („Stahl und Eisen" 1904, S. 1360).

Teil des Hochofens wird das verflüchtigte Zink zum grofsen Teile durch den hier reichlich anwesenden Wasserdampf- und Kohlendioxydgehalt des Gasstromes wieder oxydiert, und das entstehende Zinkoxyd geht alsdann teils als feiner Staub mit den Gasen davon, teils setzt es sich an den Ofenwänden unterhalb der Gicht fest, hier die erwähnten zinkischen Anbrüche oder den Gichtschwamm bildend. Ein geringerer Teil des Zinkgehalts der Gase wird bisweilen auch noch im metallischen Zustande in dem Gichtstaube gefunden. Im Roheisen und in der Schlacke findet sich dagegen nur selten eine Spur von Zink.

Auch der selten ganz fehlende Kupfer- und Bleigehalt der Beschickung wird bei deren allmählichem Niederrücken reduziert. Das Kupfer legiert sich mit dem Eisen; das Blei geht zum Teile dampfförmig mit dem Gasstrome davon; ein gröfserer Teil sinkt unter das Roheisen, ohne von diesem aufgenommen zu werden, sickert durch den Bodenstein und kann unter diesem abgeleitet werden.

Wie das Kupfer verhalten sich Nickel und Kobalt, auch Antimon und Arsen. Trotz seiner Flüchtigkeit bleibt das Arsen zum grofsen Teile bei dem Eisen zurück (über das Verhalten des Arsens beim Erhitzen der Erze vergl. S. 254 I).

Enthält die Beschickung Titan, Chrom, Vanadin, so wird auch von diesen Metallen ein Teil in dem unteren Teile des Hochofens reduziert und vom Eisen aufgenommen, und selbst der Kalium- und Natriumgehalt der Beschickung, teils aus der Asche der Brennstoffe, teils aus den Erzen stammend, bleibt von den hier herrschenden, stark reduzierenden Einflüssen nicht ganz unberührt. Es entstehen unter Mitwirkung des Stickstoffs der eingeblasenen Luft Cyanide, welche zunächst verflüchtigt werden und mit dem Gasstrome aufsteigen. Bell fand in den Gasen eines mit Koks betriebenen Hochofens von 24 m Höhe, welche 2,5 m oberhalb der Formen entnommen waren, als Durchschnitt aus sechs verschiedenen Proben in 1 cbm Gas 15 g Cyan neben 29 g Kalium und Natrium[1]); mehrfach sind früher Vorschläge gemacht worden, das im Hochofen gebildete Cyankalium durch Einlassen einer Röhre in den Raum oberhalb der Formen, wo die gröfste Menge dieses Salzes vorhanden ist, für gewerbliche Zwecke zu gewinnen. In dem oberen Teile des Ofens zerfallen diese Cyanide wieder, indem sie als Reduktionsmittel auf die Eisenoxyde wirken. Jene von Bell untersuchten Gase enthielten an der Gicht nur noch 3,8 g Cyan neben 9 g Alkalien. Von dem ursprünglichen Gehalte waren demnach 80 v. H. Cyan und 69 v. H. Alkalien verschwunden. Die ausgetretenen Alkalien gehen in die Schlacke und geben, wenn sie mit dieser wieder unten angelangt sind, erneute Gelegenheit zur Bildung von Cyaniden.

Endlich gelangen die geschmolzenen Massen in den Verbrennungsraum des Ofens, tropfen hier, wie sich durch die Formen beobachten läfst, zwischen den weifsglühenden Kohlen hindurch

---

[1]) Lowthian Bell, Principles of the manufacture of iron and steel, S. 217.

und sammeln sich im Herde, das Roheisen zu unterst, die Schlacke zu oberst.

c) Die Veränderungen der Zusammensetzung der Gase bei ihrem Aufsteigen im Hochofen.

Durch die Formen wird geprefste atmosphärische Luft eingeblasen, im wesentlichen bestehend aus Stickstoff und Sauerstoff neben kleinen Mengen Kohlendioxyds und Wasserdampfs.

Sobald die Luft auf die bei ihrem Niedergange schon stark erhitzten Kohlen trifft, beginnt die Verbrennung. Sie verläuft um so rascher, d. h. der eingeblasene Sauerstoff wird um so früher verzehrt, je höher die Temperatur in dem Verbrennungsraume und je vollständiger, ausgedehnter die gegenseitige Berührung zwischen Luft und Brennstoff ist. Daher befördern Erhitzung des Windes und seine Verteilung in zahlreiche einzelne Strahlen mit gröfserer Gesamtoberfläche, porige Beschaffenheit des Brennstoffs und auch stärkere Pressung des Windes, durch welche er befähigt wird, zwischen den Stücken des Brennstoffs hindurch seinen Weg bis in die Mitte des Ofens zu nehmen, und welche ihn in innigere Berührung mit dem Brennstoffe bringt, die rasche Verbrennung. Das Enderzeugnis der Verbrennung ist in allen Fällen Kohlenoxyd, da der Gasstrom immer aufs neue mit weifsglühenden Kohlen in Berührung tritt; dabei ist jedoch nicht ausgeschlossen, dafs bei der ersten Berührung zwischen Brennstoff und Sauerstoff auch Kohlendioxyd gebildet werde, welches erst allmählich bis auf kleine etwa zurückbleibende Anteile wieder verschwindet. Ebenso erklärt es sich, dafs in den Gasen, die unmittelbar über den Formen dem Hochofen entnommen werden, auch noch unverzehrter Sauerstoff gefunden werden kann. Van Vloten fand in einer Gasprobe, welche in der Formenebene eines mit Koks auf weifses Roheisen betriebenen Hochofens entnommen wurde, in 100 Raumteilen des Gasgemisches 15,5 Raumteile Kohlendioxyd und in einer anderen Probe 13 Raumteile unverzehrten Sauerstoffs neben 6 Raumteilen Kohlendioxyds[1]). Je höher die Temperatur vor den Formen ist, desto rascher verschwindet aller freie Sauerstoff, und Kohlendioxyd kann überhaupt in sehr hohen Temperaturen nicht mehr bestehen.

Der nächste Zweck der Verbrennung der Kohlen vor den Formen ist die Erzeugung der für das Schmelzen erforderlichen Temperatur. Die im Verbrennungsraume entstehende Temperatur ist abhängig von der Wärmeleistung des Brennstoffs, der stattgehabten Vorwärmung der Brenn- und Schmelzstoffe bei ihrem Niedergange, der Temperatur des Gebläsewindes, dem Verhältnisse zwischen der Menge des Brennstoffs und der zu erhitzenden Körper. Es ist leicht zu ermessen, dafs unter übrigens gleichen Verhältnissen die Temperatur im Verbrennungsraume sinken mufs, wenn das Verhältnis des Erzsatzes zum Brennstoff gesteigert wird; denn wenn

---

[1]) „Stahl und Eisen“ 1893, S. 28.

die Menge der wärmeaufnehmenden Körper zunimmt, mufs die Temperatur abnehmen (vergl. S. 60 I).

Das von der Luft mitgebrachte Kohlendioxyd bleibt, da seine Menge unbeträchtlich ist (0,04 v. H. Raumteile), ohne merklichen Einflufs für das Hochofenschmelzen. Nicht ganz so unwesentlich ist der Wassergehalt des Windes. Zur Verbrennung von 1 kg Kohlenstoff im Hochofen sind 5,65 kg atmosphärische Luft erforderlich; bei einem Wassergehalte der Luft von 0,70 v. H., welcher im Sommer auch bei trockenem Wetter nicht selten vorkommt[1]), werden also für 1 kg verbrannter Kohle 0,04 kg Wasser in den Ofen geführt. Dieser Wasserdampf zersetzt sich in Berührung mit den glühenden Kohlen in Wasserstoffgas und Kohlenoxyd; der hierbei stattfindende Wärmeverbrauch beträgt $0{,}04 \times 1551 = 62$ W.-E., da 1 kg Wasserdampf bei dieser Umsetzung 1551 W.-E. mehr verbraucht als erzeugt (S. 116 I). Da 1 kg Kohle bei der Verbrennung zu Kohlenoxyd 2470 W.-E. entwickelt, beträgt jener Wärmeverbrauch in dem angeführten Beispiele 2,5 v. H. von der erzeugten Wärme, und eine gröfsere Menge Brennstoff ist erforderlich, um die erforderliche Temperatur im Verbrennungsraume zu erzeugen. Unter ungünstigen Verhältnissen kann der Wassergehalt erheblich beträchtlicher sein, als oben angenommen wurde, und in demselben Mafse mufs sich alsdann auch der Brennstoffverbrauch steigern[2]). Noch eine andere Folge zieht indes die stattfindende Wasserzersetzung nach sich. Die Menge der aufsteigenden Gase, bezogen auf die gleiche Menge des zu schmelzenden Erzes, wird gröfser als bei trockener Luft, teils durch Hinzutreten des aus dem Wasser entstandenen Kohlenoxyds und Wasserstoffs, teils unmittelbar durch Erhöhung des Brennstoffs. Je gröfser aber die Menge der auf eine bestimmte Temperatur erhitzten wärmeabgebenden Körper, in diesem Falle der Gase, im Verhältnisse zu der Menge der wärmeaufnehmenden Körper, also der Beschickung des Hochofens, ist, desto langsamer sinkt die Temperatur der ersteren. Die vor den Formen herrschende hohe Temperatur sinkt bei feuchter Luft weniger rasch als bei trockner Luft; die Gefahr für die Entstehung von Oberfeuer (S. 187) wächst, die Gase verlassen heifser den Ofen, und die entwickelte Wärme wird ungünstiger ausgenutzt. Ein fernerer Mehraufwand von Brennstoff mufs die Folge hiervon sein.

Die häufig beobachtete Erscheinung, dafs im Winter der Brennstoffbedarf der Hochöfen zur Darstellung einer gleichen Menge Roheisens geringer ausfällt als im Sommer, wird durch den geringeren Feuchtigkeitsgehalt der Winterluft genügend erklärt, und, wie schon auf S. 110 erwähnt wurde, kann eine Trocknung des Gebläsewindes zweifellos von Nutzen sein, wenn sie in ausreichend billiger Weise sich bewerkstelligen läfst. Ob die auf einem amerikanischen Werke eingeführte Trocknung der Luft in Kühlkammern sich als wirtschaft-

---

[1]) Wenn die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt ist, enthält sie bei 20° C. 1,34 v. H. ihres Eigengewichts Wasserdampf.

[2]) Osann berechnet die bei Abscheidung von 9 g Wasser aus 1 cbm Luft, also etwa 0,75 v. H. ihres Eigengewichts, unmittelbar erreichbare Ersparung an Koks bei einem Hochofen, welcher bei feuchter Luft 196,6 kg Koks für Erzeugung von 100 kg Roheisen gebrauchte, zu 3,6 kg („Stahl und Eisen“ 1905, S. 75).

lich vorteilhaft bewähren kann, müssen erst länger fortgesetzte Versuche erweisen.

Neben Kohlenoxyd und Stickstoff findet sich also in der Formengegend regelmäfsig Wasserstoff, aus der vom Winde mitgebrachten Feuchtigkeit stammend. Infolge der in dem Schmelzraume des Ofens stattfindenden Reduktion von Mangan, Silicium, Phosphor und Eisen durch Kohle aus der Schlacke wächst aber der Kohlenoxydgehalt des aufsteigenden Gasgemenges, bis dieses in jene Gegend des Hochofens einrückt, wo die reduzierende Einwirkung des Kohlenoxyds auf vorhandene Eisenoxyde beginnt, die Schmelzung der letzteren also noch nicht begonnen hat. Von nun an würde der Kohlenoxydgehalt der Gase bis zur Gicht immer mehr ab-, der Kohlendioxydgehalt immer mehr zunehmen, wenn nicht ein anderer Vorgang daneben sich vollzöge. Denn auch die niederrückenden Kohlen sind der Einwirkung des aufsteigenden heifsen Gasstromes ausgesetzt, und ein Teil des bei der Einwirkung des Kohlenoxyds auf die Erze entstandenen Kohlendioxyds wird durch die Kohlen wieder zu Kohlenoxyd reduziert. Dieser Vorgang ist gleichbedeutend mit einem Mehraufwande an Kohlenstoff; denn der hierbei vergaste Kohlenstoff entweicht aus dem Hochofen, ohne für das Hochofenschmelzen nützlich gewesen zu sein. Eine Beschränkung der Reduktion des Kohlendioxyds (Verbrennung von Kohlenstoff durch Kohlendioxyd) ist also wünschenswert für die günstige Ausnutzung des Brennstoffs. Befördert wird die Reduktion des Kohlendioxyds durch hohe Temperatur, durch längere Zeitdauer der gegenseitigen Einwirkung, durch grofse vom Kohlenstoff dargebotene Berührungsfläche. Eine allzu hohe Temperatur oberhalb des Schmelzraumes ist auch in Rücksicht hierauf nachteilig. Hieraus erklärt sich auch die mehrfach besprochene Tatsache, dafs die leichtere Bauart der Hochöfen keine nachteiligen Einflüsse auf die Brennstoffausnutzung hat erkennen lassen.

Der Umstand, dafs eine übermäfsige Erhöhung der Hochöfen sich erfahrungsmäfsig als ziemlich nutzlos für die Brennstoffausnutzung erwiesen hat, läfst sich ebenfalls zum Teil auf die vermehrte Vergasung von Kohlenstoff durch Kohlendioxyd in höheren Öfen zurückführen; denn je höher der Ofen ist, desto länger bleiben Erze und Brennstoffe der Einwirkung des aufsteigenden Gasstromes ausgesetzt, desto umfangreichere Gelegenheit findet sich zwar für die Reduktion der Erze durch Kohlenoxyd, daneben aber auch für die Reduktion des entstandenen Kohlendioxyds durch Kohle, und sobald die Höhe des Ofens ausreichend ist, um jene Reduktion der Erze zu ermöglichen, mufs eine fernere Erhöhung die Gefahr einer Vermehrung der Vergasung von Kohle durch Kohlendioxyd nahelegen. Holzkohlen werden leichter verbrannt als Koks, porige Koks leichter als dichte, diese leichter als Anthracite. Die Grenze, wo eine weitere Erhöhung des Ofens aufhört, nutzbringend für die Brennstoffausnutzung zu sein, mufs aber — auch wenn man von der leichteren Zerreiblichkeit der weniger dichten Brennstoffe ganz absieht — dem Gesagten zufolge um so früher erreicht werden, je leichter verbrennlich der Brennstoff ist. Die Höhe des Ofens kann daher um so beträchtlicher sein, ehe die Grenze des Zweck-

mäfsigen erreicht wird, je schwerer verbrennlich, dichter, der angewendete Brennstoff ist[1]).

Kleinstückige Brennstoffe bieten eine gröfsere Oberfläche dar, liefern also eine ausgiebigere Gelegenheit zu der Reduktion von Kohlendioxyd in dem oberen Teile des Ofens als grobstückige. Daher wächst die zweckmäfsigste Stückgröfse der Brennstoffe mit der Höhe des Ofens.

Waren rohe oder unvollständig verkohlte Brennstoffe aufgegeben, so mischen sich deren flüchtige Zersetzungsgebilde — vornehmlich Wasserstoff, Kohlenwasserstoffe und Kohlenoxyd — mit den aufsteigenden Gasen. Schweres Kohlenwasserstoffgas, sofern solches überhaupt bei der Zersetzung entsteht, zerfällt alsbald, indem es reduzierend auf die Erze einwirkt, und leichtes Kohlenwasserstoffgas hinterbleibt.

Unter fortschreitender Vermehrung ihres Sauerstoffgehalts gelangen die Gase in die Nähe der Gicht, nehmen hier den ausgetriebenen Wasserdampf auf und entweichen schliefslich mit diesem aus dem Ofen.

Dem geschilderten Verlaufe entsprechend, bestehen sie an der Gicht aus Stickstoff, Kohlenoxyd, Kohlendioxyd, Kohlenwasserstoffgas und Wasserstoff; daneben enthalten sie Wasserdampf und den nie ganz fehlenden Gichtstaub, dessen Zusammensetzung unter den Nebenerzeugnissen des Hochofenbetriebes Besprechung finden wird.

Aufschlufs über die hier geschilderten Vorgänge geben uns die Analysen der Gase, welche aus verschiedenen Höhenlagen des Hochofens entnommen wurden. In der Tat erhielten wir erst durch die Untersuchung der Hochofengase ein einigermafsen deutliches Bild von dem eigentlichen Verlaufe des Hochofenschmelzens, und die von Bunsen bei dem kleinen Holzkohlenhochofen zu Veckerhagen bei Kassel im Jahre 1839 ausgeführten Untersuchungen gaben die erste Anregung zu der Ausbildung der Gasanalyse überhaupt. Spätere Untersuchungen wurden durch Ebelmen in Frankreich, Rinman und Fernquist in Schweden, Bunsen und Playfair in England, Tunner, Richter, Kupelwieser und Schöffel in Steiermark durchgeführt[2]).

Nicht aufser acht lassen darf man freilich den Umstand, dafs es, zumal in den unteren Teilen des Hochofens, sehr schwierig ist, richtige Durchschnittsproben der Gase zu erhalten. Denn an den

[1]) Bei Verwendung von Anthraciten als Hochofenbrennstoff läfst deren Neigung, in kleine Stücke zu zerspringen, welche den Ofen verstopfen können, die Anwendung sehr hoher Öfen nicht tunlich erscheinen.

[2]) Bunsens Untersuchungen in Veckerhagen: Poggendorfs Annalen, Band 46 (1839), S. 193, Ebelmens Untersuchungen: Annales des mines, Reihe 3, Bd. 20, S. 395; Reihe 4, Bd. 5, S. 24; Reihe 4, Bd. 19, S. 117; Bunsens und Playfairs Untersuchungen: Report of the British Association 1846, S. 170. Hinsichtlich der bei steirischen Hochöfen ausgeführten Untersuchungen vergleiche Literatur. Eine Zusammenstellung der Ergebnisse aller wichtigeren bis zum Jahre 1873 ausgeführten derartigen Untersuchungen findet sich in Wedding, Eisenhüttenkunde, 2. Aufl., Bd. 3, S. 203 bis 220. In der Jetztzeit pflegt man sich auf die Untersuchung der Gichtgase zu beschränken, deren Zusammensetzung allein schon ausreichend ist, manche wertvolle Schlufsfolgerungen auf die Eigentümlichkeiten des Schmelzganges eines Hochofens zu ermöglichen. Einiges Nähere hierüber wird unten mitgeteilt werden.

Wänden des Ofens häufen sich, wie schon erwähnt, die Brennstoffe, in der Mitte die Erze und Zuschläge; die Gase aber nehmen mit Vorliebe ihren Weg an den Wänden. Gasproben aus der Mitte des Ofens und solche aus der Nähe des Umfangs besitzen deshalb ziemlich abweichende Zusammensetzung, auch wenn sie in ganz der nämlichen Höhenlage entnommen wurden, und man mufs zahlreiche Proben aus derselben Höhenlage, aber in verschiedenem Abstande vom Umfange nehmen, um richtige Mittelwerte zu erhalten. Gichtgase von annähernd richtiger durchschnittlicher Zusammensetzung lassen sich, sofern der Ofen mit Gichtverschlufs versehen ist, aus der Gasleitung entnehmen.

Zur Beurteilung, in welcher Weise die Ergebnisse solcher Untersuchungen befähigt sind, Aufschlüsse über die Vorgänge im Innern des Hochofens zu geben, möge man folgendes beachten:

Der gesamte Sauerstoffgehalt der Hochofengase an irgend einer Stelle ist mit Kohlenstoff teils zu Kohlenoxyd, teils zu Kohlendioxyd vereinigt und entstammt zwei verschiedenen Quellen. Ein Teil ist durch das Gebläse von aufsenher zugeführt, und zwar seiner gröfseren Menge nach als freier Sauerstoff, in kleinerer Menge als Bestandteil des Feuchtigkeitsgehalts des Gebläsewindes. Da dieser Feuchtigkeitsgehalt vor den Formen unter Wasserstoffbildung zerlegt wird, ergibt die Menge des in den Gasen unmittelbar über den Formen gefundenen Wasserstoffs leicht die zugehörige Menge Sauerstoffs; 2 Raumteile Wasserstoff entsprechen 1 Raumteil Sauerstoff. Der Stickstoffgehalt der eingeblasenen Luft bleibt, sofern man von der für eine solche Berechnung immerhin nicht sehr wesentlichen Bildung von Cyan und Cyaniden im unteren Teile des Ofens absieht, unverändert. Da nun in der atmosphärischen Luft 100 Raumteile Stickstoff 26,5 Raumteilen Sauerstoff entsprechen, läfst sich berechnen, wie viel des in den Gasen enthaltenen Sauerstoffs durch die Gebläseluft eingeführt wurde. Findet sich, wie es meistens der Fall ist, ein gröfserer Sauerstoffgehalt in den Gasen, so mufs er der zweiten Quelle, nämlich der Beschickung, entstammen, und zwar entweder durch Reduktion der Erze oder durch Zerlegung von Carbonaten, oder auch aus sauerstoffhaltigen Brennstoffen in das Gasgemisch geführt sein. Eine chemische Untersuchung der betreffenden Schmelzstoffe an der Stelle, wo die Gase entnommen sind, und ein Vergleich mit der Zusammensetzung der Erzeugnisse (des Roheisens, der Schlacke) würde erforderlichenfalls Aufschlufs hierüber geben können. Findet sich dagegen ein geringerer Sauerstoffgehalt in den Gasen, als von aufsen zugeführt wurde, so läfst dieser Umstand auf eine stattgehabte Oxydation fester oder geschmolzener Körper (Mangan, Silicium, Eisen) schliefsen.

Die Berechnung des gesamten Sauerstoffgehalts der Gase ist nicht schwierig, da 1 Raumteil Kohlendioxyd die gleiche Raummenge, 1 Raumteil Kohlenoxyd $^1/_2$ Raumteil Sauerstoff enthält.

Da die Gesamtmenge der Gase sich beim Aufsteigen im Ofen verändert, die Menge des Stickstoffs dagegen annähernd unverändert bleibt, bezieht man am geeignetsten die Ziffern für den an verschiedenen Stellen des Ofens gefundenen Sauerstoff auf 100 Raumteile Stickstoff. Zum Beispiel:

An irgend einer Stelle des Ofens möge die Zusammensetzung des Gasgemenges folgende sein: 58,80 Raumteile Stickstoff, 11,20 Raumteile Kohlendioxyd, 25,80 Raumteile Kohlenoxyd, 3,60 Raumteile Wasserstoff, 0,90 Raumteile Kohlenwasserstoff (CH_4). Der Wasserstoffgehalt entstammt, sofern er in höhergelegenen Teilen des Ofens gefunden wurde, jedenfalls zum Teil dem Brennstoffe; eine Bestimmung des Wasserstoffs über den Formen läfst erkennen, wie viel durch den Gebläsewind zugeführt wurde. In dem vorliegenden Falle möge der Wasserstoffgehalt der Gase über den Formen 0,70 Raumteile betragen haben; diese entsprechen alsdann 0,35 Raumteilen des im Wasserdampfe der Gebläseluft eingeführten Sauerstoffs. Mit jenen 58,80 Raumteilen Stickstoff gelangten $\frac{26{,}5}{100} \times 58{,}80 = 15{,}58$ Raumteile freier Sauerstoff in den Ofen; also Gesamtmenge des von aufsenher zugeführten Sauerstoffs $15{,}58 + 0{,}35 = 15{,}93$ Raumteile. In den Gasen findet sich:

Sauerstoff des Kohlendioxyds	11,20	Raumteile
„ des Kohlenoxyds $^1/_2 \times 25{,}80$.	12,65	„
Gesamter Sauerstoffgehalt der Gase	23,85	Raumteile.

Aus der Beschickung stammen also $23{,}85 - 15{,}93 = 7{,}92$ Raumteile, oder auf 100 Raumteile Stickstoff bezogen,

$$\frac{7{,}92}{58{,}80} \times 100 = 13{,}48 \text{ Raumteile.}$$

Wie erwähnt, würde eine Ermittlung, ob dieser aus der Beschickung stammende Sauerstoff durch Reduktion der Erze oder durch Zerlegung von Carbonaten und Brennstoffen in den Gasstrom geführt sei, durch Untersuchung der Schmelzstoffe zu erreichen sein; der Ort, an welchem die Gase entnommen wurden, sowie die ursprüngliche Zusammensetzung der Beschickung lassen jedoch immerhin schon einige Schlufsfolgerungen zu.

Fernere Aufschlüsse erhält man durch Berechnung des im Kohlendioxyd und im Kohlenoxyd auftretenden Kohlenstoffgehalts der Gase, wiederum bezogen auf 100 Raumteile anwesenden Stickstoffs. 1 Raumteil Kohlendioxyd und 1 Raumteil Kohlenoxyd enthalten je $^1/_2$ Raumteil Kohlenstoffdampf. Jenes Gasgemenge mit 58,80 Raumteilen Stickstoff, 11,20 Raumteilen Kohlendioxyd, 25,80 Raumteilen Kohlenoxyd enthält demnach Kohlenstoff (in Gasform): $^1/_2\ (11{,}20 + 25{,}80) = 18{,}25$, oder auf 100 Raumteile Stickstoff 31,03 Raumteile.

Zeigt sich nun bei der Vergleichung des Kohlenstoffgehalts der Gase in verschiedenen Ofenzonen eine Zunahme während des Aufsteigens der Gase, so weist diese hin entweder auf stattgehabte Reduktion der Erze durch Kohle oder auf Vergasung von Kohlenstoff durch Kohlendioxyd. oder auf stattgehabte Zerlegung von Carbonaten. Eine Abnahme des Kohlenstoffgehalts dagegen würde in dem oberen Teile des Ofens auf ein Zerfallen von Kohlenoxyd unter Ablagerung von Kohlenstoff oder auch — bei Anwendung gebrannten Kalksteins oder gerösteter kalkspathaltiger Erze — auf eine Bindung des Kohlendioxyds durch das Calciumoxyd der Beschickung hindeuten. In dem unteren Teile des Ofens dagegen würde eine Abnahme des Kohlenstoffgehalts zu berechtigten Zweifeln

an der Richtigkeit der Ermittlung der durchschnittlichen Zusammensetzung des Gasgemenges innerhalb des Ofenquerschnitts Veranlassung geben; denn die Menge der kohlenhaltigen Gase, welche etwa von den schmelzenden Massen gelöst und solcherart dem Gasgemenge entzogen werden, oder die Menge des Kohlenstoffs, welcher aus den Gasen an Roheisen abgegeben werden kann, ist zu unbedeutend, um in dieser Weise erkennbar zu werden.

Jene aus dem Kohlenstoffgehalte der Gase sich ergebenden Schlufsfolgerungen erhalten eine weitere Ausdehnung durch Ermittlung des Verhältnisses zwischen dem Kohlendioxyd- und Kohlenoxydgehalte. Durch die Verbrennung der Kohle mit atmosphärischem Sauerstoff vor den Formen entsteht, wie oben erwähnt, schliefslich nur Kohlenoxyd, und das an einzelnen Stellen des Ofenquerschnitts in der Formgegend nachweisbare Kohlendioxyd verschwindet um so rascher, je stärker erhitzt der Wind und je leichter verbrennlich der Brennstoff ist. Bei regelrechtem Verlaufe des Betriebes aber mufs das Verhältnis des Kohlendioxyds zum Kohlenoxyd in dem Gasstrome um so gröfser werden, je mehr die Gase sich der Gicht nähern, teils infolge der Reduktion der Erze durch Kohlenoxyd, teils infolge der Zerlegung von Carbonaten; auch das schon erwähnte Zerfallen von Kohlenoxyd in Kohlenstoff und Kohlendioxyd in der Nähe der Gicht kann die Ursache einer Zunahme dieses Verhältnisses sein. Tritt der umgekehrte Fall ein, eine Abnahme des Kohlendioxydgehalts unter Zunahme des Kohlenoxydgehalts, so darf man mit Sicherheit auf stattfindende Reduktion der Erze durch Kohle oder Vergasung von Kohlenstoff durch Kohlendioxyd schliefsen.

Der Wasserstoffgehalt der Gase stammt teils aus der Feuchtigkeit der Gebläseluft, teils aus dem Wasserstoffgehalte der Brennstoffe. Ersterer entsteht in unmittelbarer Nähe der Formen; tritt also beim Aufsteigen der Gase eine Anreicherung ein, so läfst diese auf die zweite Ursache schliefsen. Kleine Abminderungen des Wasserstoffgehalts können in einzelnen Fällen durch Reduktion von Eisenoxyden durch Wasserstoffgas veranlafst werden.

Kohlenwasserstoffe entstehen aus der Zerlegung kohlenwasserstoffhaltiger Brennstoffe. Auch ungenügend verkohlte Brennstoffe können noch Kohlenwasserstoffe entlassen; bedeutender ist ihre Menge bei Verwendung roher Brennstoffe. In den Hochofengasen findet sich leichtes Kohlenwasserstoffgas (CH_4), sofern der Hochofen mit verkohlten Brennstoffen betrieben wurde, in Mengen bis zu etwa 3 v. H., bei Anwendung roher Brennstoffe mitunter bis 8 v. H. oder etwas darüber, und zwar, wie leicht erklärlich ist, vorwiegend in der oberen Hälfte des Ofens. Dafs schweres Kohlenwasserstoffgas (CH_2) überhaupt nur in Öfen, welche rohe Brennstoffe erhalten, gefunden werde und sich rasch zersetze, wurde schon früher erwähnt.

Beispiele.

Schöffel untersuchte 1871 und 1872 die Gase eines mit Holzkohlen betriebenen Hochofens zu Eisenerz[1]). Die Höhe des

[1]) Jahrbuch der österreichischen Bergakademien, Band 21, S. 188.

ganzen Ofens war 13,3 m, die Höhe des unteren Teils bis zum Kohlensack 3,8 m, des oberen Teils 9,5 m; Durchmesser unten 1,5 m, im Kohlensack 2,6 m, in der Gicht 1,7 m; innerer Durchmesser des eingehängten Gichtzylinders 0,9 m; Rauminhalt des ganzen Hochofens 35 cbm. Durch vier Windformen erhielt der Ofen in der Minute 35 cbm Wind. Die Beschickung bestand aus gerösteten Spateisenerzen mit etwa 50 v. H. Roheisenausbringen nebst 7½ v. H. ihres Gewichts Zuschlagstonschiefer und 2 v. H. sogenannten Wascheisens (Eisenkörnern aus den Schlacken, welche auf diese Weise wieder zu Gute gemacht werden). Das Erz enthielt noch 12 v. H. Kohlensäure, welche erst im Ofen ausgetrieben werden mufste; unmittelbar aus den Röstöfen, also noch heifs, wurden die Erze in die Hochofengicht eingeschüttet, und aus diesem Grunde erreichte die Gichttemperatur nahezu 500° C., war also ausnahmsweise hoch. Der Ofen lieferte in 24 Stunden 18,5 Tonnen weifsen Roheisens nebst etwa 13,5 Tonnen Schlacken und gebrauchte zur Darstellung von 100 kg Roheisen nur etwa 75 kg Holzkohlen. Die Durchsetzzeit für die Beschickung betrug nur etwa sieben Stunden.

Die Gasanalysen lieferten die nachstehenden Ergebnisse[1]):

Tiefe der Entziehungsstelle unterhalb der Gicht.	Kohlendioxyd	Kohlenoxyd	Leichtes Kohlenwasserstoffgas	Wasserstoff	Stickstoff	Auf 100 Raumteile Stickstoff: Sauerstoff aus der Beschickung	Auf 100 Raumteile Stickstoff: Kohlenstoff (gasförmig)	Verhältnis $\frac{CO_2}{CO}$
	Raumteile					Raumteile		
Gicht	13,96	24,44	0,34	4,85	55,42	19,5	34,6	0,57
4,4 m (8,8 m über der Form)	14,64	26,30	—	8,20	50,86	26,7	40,2	0,55
5,7 m (7,0 „ „ „ Form)	12,67	25,99	0,93	6,90	53,15	20,5	37,2	0,49
9,1 m (3,6 „ „ „ Form)	12,78	28,57	0,20	2,84	56,28	20,3	36,8	0,44
10,1 m (2,6 „ „ „ Form)	12,07	29,38	0,08	2,78	56,55	19,5	36,7	0,41
10,7 m (2,0 „ „ „ Form)	7,92	29,01	—	2,31	60,76	9,2	30,4	0,27
Formengegend	2,07	33,72	0,06	1,39	62,68	2,7	28,5	0,06

Betrachtet man zunächst die Veränderungen des Sauerstoffgehalts aus der Beschickung[2]), so zeigt sich, wie es dem Verlaufe des Schmelzens entspricht, eine stetige Zunahme von den Formen

[1]) Wo in der angegebenen Quelle mehrere Bestimmungen angeführt sind, wurden die Durchschnittsziffern angenommen; einzelne der zahlreichen Bestimmungen, deren Zuverlässigkeit etwas zweifelhaft erschien (8 m und 8,8 m unter der Gicht), wurden ganz ausgelassen.

[2]) Bei der Berechnung des Sauerstoffgehalts wurde angenommen, dafs der Wasserstoffgehalt in der Formengegend von der Feuchtigkeit des Gebläsewindes herrühre, die Anreicherung des Wasserstoffgehalts beim Aufsteigen der Gase dagegen aus dem Wasserstoffgehalte der Holzkohlen abzuleiten sei.

an aufwärts bis zur Höhe von 4,4 m unter der Gicht, und zugleich läfst ein Vergleich der einzelnen Ziffern erkennen, dafs diese Zunahme von den Formen an bis zu der Höhe von 10,1 m unter der Gicht (ungefähr der Gegend des Kohlensacks) rasch, von da an allmählich stattgefunden hat. Die Reduktion ging also vorzugsweise in dem unteren Teile des Hochofens vor sich, welcher Umstand durch gleichzeitig vorgenommene Untersuchung der Erze aus diesem unteren Teile bestätigt wurde und seine ausreichende Erklärung in dem raschen Verlaufe des Schmelzens (der kurzen Durchsetzzeit) findet. Die reichlichere Zunahme des Sauerstoffgehalts zwischen 5,7 und 4,4 m unterhalb der Gicht im Verein mit der ebenda stattgehabten Anreicherung des Kohlenstoffgehalts läfst auf Zerlegung von Carbonaten schliefsen; da aber die Zunahme des Sauerstoffgehalts beträchtlicher als die des Kohlenstoffgehalts ist, mufs auch eine Umwandlung von Fe_2O_3 in eine niedrigere Oxydationsstufe stattgefunden haben. Auffällig dagegen ist die Sauerstoffabnahme an der Gicht, welche, wie man sieht, mit einer Kohlenstoffabnahme Hand in Hand geht. Teilweise läfst sich diese Erscheinung auf eine Aufnahme von Kohlendioxyd durch den Kalkgehalt der gerösteten Erze zurückführen; zum gröfseren Teile aber dürfte sie auf eine Entmischung des Gasstromes, befördert durch die unterhalb der Gicht stattgehabte Entziehung eines Teiles der Gase, beruhen. Jedenfalls deutet die Zusammensetzung der Gase an der Gicht darauf hin, dafs eine Reduktion der Erze in diesem oberen Teile des Ofens noch nicht stattgefunden hat.

Der Kohlenstoffgehalt der Gase steigt von der Formengegend an aufwärts bis zur Höhe von 10,1 m unterhalb der Gicht (Kohlensack), welcher Umstand teils durch die Zersetzung des Restes von Carbonaten erklärt wird[1]), zugleich aber auch auf Reduktion der Erze durch Kohle oder Vergasung von Kohle durch Kohlendioxyd hinweist. Dafs jedoch neben der Reduktion durch Kohle auch die Reduktion durch Kohlenoxyd noch eine Rolle in diesem unteren Teile des Ofens spielt, und dafs nicht alles aus der Reduktion durch Kohlenoxyd oder aus dem Zerfallen der Carbonate hervorgegangenes Kohlendioxyd wieder zu Kohlenoxyd reduziert wird, beweist die starke Zunahme des Verhältnisses $\frac{CO_2}{CO}$ in ebenderselben Gegend.

Von da an bis 5,7 m unter der Gicht bleibt der Kohlenstoffgehalt der Gase annähernd unverändert, während das Verhältnis $\frac{CO_2}{CO}$ allmählich zunimmt — ein Beweis, dafs in dieser Zone des Ofens die Reduktion durch Kohlenoxyd vorherrschte, wenn auch ihr Mafs nicht bedeutend war. Die stärkere Zunahme des Kohlenstoffgehalts in dem Raume bis 4,4 m unterhalb der Gicht ist durch Austreibung des ersten Teiles der in den aufgegichteten Erzen vor-

---

[1]) In den Erzen wurden in der Höhe von 10,7 m unter der Gicht noch 5 v. H. Kohlendioxyd gefunden.

handenen Kohlensäure zu erklären; auch die fernere Steigerung des Verhältnisses $\frac{CO_2}{CO}$ deutet hierauf hin. Die mutmafslichen Ursachen der Abnahme des Kohlenstoffgehalts an der Gicht wurden bereits erörtert.

Als ein Beispiel, wie abweichend die Zusammensetzung der Gase an den Wänden und in der Mitte des Ofens sein kann, mögen die folgenden von Rinman im Jahre 1866 ermittelten Ergebnisse dienen, welche bei einem mit gerösteten Magneteisenerzen betriebenen schwedischen Holzkohlenhochofen von 12,02 m Höhe von der Form bis zur Gicht erhalten wurden[1]).

Höhe über der Form	An den Wänden. Raumteile					In der Mitte Raumteile				
	N	CO_2	CO	H	CH_4	N	CO_2	CO	H	CH_4
10,09	58,80	11,20	25,50	3,60	0,90	—	—	—	—	—
6,97	61,90	4,90	30,75	2,45	—	61,00	8,75	26,65	3,50	0,10
4,38	65,45	1,10	32,35	1,10	—	—	—	—	—	—
2,15	68,80	4,20	26,30	0,70	—	64,05	2,35	33,05	0,55	—

Ermittelt man aus diesen Ziffern wiederum den aus der Beschickung aufgenommenen Sauerstoff, den Kohlenstoffgehalt und das Verhältnis $\frac{CO_2}{CO}$, so erhält man als Durchschnittswerte:

Höhe über der Form	Sauerstoff aus der Beschickung (Raumteile)	Kohlenstoff gasförmig (Raumteile)	Verhältnis $\frac{CO_2}{CO}$
10,09 m	14,2	31,2	0,44
6,97 „	8,0	28,9	0,24
4,38 „	0,0	25,5	0,03
2,15 „	0,8	24,4	0,18

Die Ziffern lassen grofse Abweichungen in dem Schmelzgange des Ofens im Vergleiche mit dem des Ofens zu Eisenerz erkennen. Der Sauerstoffgehalt der Gase findet hier erst in einer Höhe von fast 7 m über den Formen, also etwas oberhalb der Mitte der ganzen Ofenhöhe, eine wesentliche Anreicherung; die Reduktion der Erze vollzog sich demnach zum grofsen Teile bereits in der oberen Hälfte dieses Ofens, und dieser Umstand findet seine Erklärung in dem weit langsameren Verlaufe des Schmelzganges. Wie nämlich aus den am angegebenen Orte gemachten Mitteilungen (drei Windformen von 50 mm Durchmesser, Windspannung 43 mm Quecksilbersäule, Windtemperatur 75° C.) hervorgeht, erhielt der Ofen in der Minute höchstens 20 cbm Wind, also etwa halb so viel als der Eisenerzer Ofen, während der räumliche Inhalt beider Öfen annähernd gleich, das Verhältnis des Erzsatzes zum Brennstoff

[1]) Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde. 1. Auflage, Abteilung 2, S. 226.

aber in dem Eisenerzer Ofen etwas höher war als in dem schwedischen. Die Durchsetzzeit der Erze war in dem schwedischen Ofen demnach länger als in dem Eisenerzer.

Die Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd durch den Gebläsewind verlief ziemlich langsam, wie aus der anfänglichen Abnahme des Verhältnisses $\frac{CO_2}{CO}$ zu ersehen ist und aus der niedrigen Temperatur des Gebläsewindes sich erklärt; dann aber tritt, wie aus der in der Höhe von 4,88 m beginnenden Zunahme jenes Verhältnisses sich schliefsen läfst, Reduktion der Erze durch Kohlenoxyd ein und neben dieser auch teilweise Reduktion durch Kohle oder Vergasung von Kohlenstoff durch das entstehende Kohlendioxyd (daher Anreicherung des Kohlenstoffgehalts in den Gasen).

Obgleich die gegebenen Beispiele einer schon mehrere Jahrzehnte zurückliegenden Zeit entstammen, und obgleich die Betriebsverhältnisse der Hochöfen, deren Gase man untersuchte, ziemlich abweichend von den Betriebsverhältnissen der meisten jetzigen Hochöfen waren, können die Beispiele immerhin als Beweise dienen, dafs die Zusammensetzung der Hochofengase gewissermafsen einen Spiegel bildet, in welchem die Vorgänge im Innern mit ziemlicher Deutlichkeit erkennbar sind.

Dafs ein Hochofengang, bei welchem alles entwickelte Kohlenoxyd zur Reduktion der Erze verbraucht sei, die Gichtgase demnach frei von Kohlenoxyd wären, überhaupt unmöglich ist, ergibt sich aus der früher besprochenen Tatsache, dafs bei der Reduktion durch Kohlenoxyd metallisches Eisen nur bei einem Überschusse des Reduktionsmittels entstehen kann, welcher gröfser ist, als dafs er zur Reduktion der sauerstoffreicheren Eisenoxyde zu Eisenoxydul in dem oberen Teile des Ofens aufgebraucht werden könnte (S. 310 I). Dennoch kennzeichnet das gegenseitige Verhältnis, in welchem Kohlendioxyd und Kohlenoxyd in den Gichtgasen sich finden, in gewisser Weise die mehr oder minder günstige Ausnutzung des Brennstoffs im Hochofen. Denn da zur Durchführung des Schmelzens, d. h. zur Darstellung einer bestimmten Menge Roheisen, auch eine bestimmte Wärmemenge erforderlich ist, die Wärmeentwicklung aber bei der Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd geringer sich beziffert als bei der Verbrennung zu Kohlendioxyd, ist immerhin für die Erzeugung jener Wärmemenge ein um so gröfserer Brennstoffaufwand notwendig, je gröfser die Menge des in den Gichtgasen noch anwesenden Kohlenoxyds ist. In naher Beziehung hierzu steht die Tatsache, dafs jede Reduktion von Kohlendioxyd durch Vergasung von Kohle in den oberhalb des Verbrennungsraumes gelegenen Ofenteilen mit einem Verlust dieser Kohle gleichbedeutend ist, sowie ferner der Mehrverbrauch an Wärme bei Reduktion durch Kohle gegenüber der Reduktion durch Kohlenoxyd. In beiden Fällen, bei Vergasung festen Kohlenstoffs durch Kohlendioxyd wie bei vermehrter Reduktion durch Kohle, wird der Brennstoffaufwand zur Darstellung einer bestimmten Roheisenmenge gröfser, das Verhältnis des Kohlendioxyds zum Kohlenoxyd in den Gichtgasen geringer. Je niedriger demnach der zur Erzeugung einer bestimmten Menge Roheisen erforderliche

Brennstoffverbrauch war, desto höher fällt im allgemeinen das Verhältnis $\frac{CO_2}{CO}$ in den Gichtgasen aus. Jener Brennstoffverbrauch aber ist durch mehrfache Einflüsse bedingt. Reduzierbarkeit und Eisengehalt der Erze, Beschaffenheit des erfolgenden Roheisens sind in erster Reihe hierbei mafsgebend. Fernerhin darf nicht aufser Betracht gelassen werden, dafs jenes Verhältnis $\frac{CO_2}{CO}$ bei Hochöfen, deren Beschickungen grofse Mengen von Carbonaten enthalten, deren Erze also z. B. eines reichlichen Kalksteinzuschlags bedürfen, an und für sich schon gröfser sein mufs als in Hochöfen mit kohlensäurearmen Beschickungen. Falsch würde es daher sein, wenn man jenes Verhältnis $\frac{CO_2}{CO}$ ohne weiteres als Mafsstab benutzen wollte, um danach die Betriebsweise zweier unter verschiedenen Verhältnissen arbeitender Hochöfen zu vergleichen.

d) Die Temperatur im Hochofen.

Mehrfach hat man zur Vervollständigung unserer Kenntnis über die Vorgänge im Innern des Hochofens Temperaturmessungen an verschiedenen Stellen ausgeführt[1]). Unmittelbar über den Formen fand man Temperaturen von 1600° bis 2000°, bei Weifseisendarstellung niedriger, bei Graueisendarstellung höher; in der Gegend des Kohlensacks 700 bis 1500°, bei grofsen Öfen auch wohl noch darüber; an der Gicht die schon mitgeteilten Temperaturen, meistens 200 bis 400°. Zuverlässige derartige Ermittlungen begegnen indes erheblichen Schwierigkeiten. Die zur Messung hoher Temperaturen geeigneten Pyrometer lassen sich in das Ofeninnere kaum einführen, ohne einer Gefahr der Beschädigung unterworfen zu sein, und die genaueren Pyrometer der Neuzeit (z. B. das Pyrometer von Le Chatelier) besafs man damals, als jene Untersuchungen ausgeführt wurden, überhaupt noch nicht. Man benutzte gewöhnlich Metallegierungen, in einem Eisenstabe befestigt, nach deren Verhalten — ob sie schmolzen oder nicht — man die Temperatur schätzte. Hierzu kommt aber der Umstand, dafs in einem und demselben Ofenquerschnitte ziemlich grofse Temperaturunterschiede obwalten können, je nachdem die Messung in der Mitte oder in der Nähe des Umfanges angestellt wurde. Letztere Tatsache kann durch nachstehende Zusammenstellung der Temperaturen veranschaulicht werden, welche durch Wiebmer bei einem Gleiwitzer Hochofen gemessen wurden[2]). Der Ofen mafs 13,6 m von der Formenebene bis zur Gicht; Durchmesser in der Formenebene 2,56 m,

[1]) Jahrbuch der österreichischen Bergakademien, Band 21, S. 232 (Kupelwieser); Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen im preufsischen Staate, Band 19 (Jüngst).

[2]) Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen im preufsischen Staate, Band 22, S. 289 Auch durch Tunner wurden Versuche über diese Abweichungen der Temperatur angestellt (Jahrbuch der österr. Bergakademien, Bd. 9, S. 296).

im Kohlensack 5,84 m, in der Gicht 3,92 m; Rauminhalt des Ofens 215 cbm. Die Windtemperatur betrug 350° C., Windmenge 150 cbm in der Minute. Die Beschickung bestand für jede Gicht aus 180 kg Frischschlacken, 135 kg Brauneisenstein, 135 kg Spateisenstein (von letzterem die Hälfte roh, die andere Hälfte geröstet) nebst 165 kg Zuschlagskalkstein. Die Durchsetzzeit war fast 24 Stunden, die Erzeugung in 24 Stunden 36 Tonnen weifsen Roheisens, der Koksverbrauch zur Darstellung von 100 kg Roheisens 155 kg.

Die gemessenen Temperaturen waren folgende (in Graden Celsius):

	Formenebene	0,44 m über der Formenebene	1,47 m	5,54 m	7,64 m	9,88 m	12,08 m	Gicht
Ofenmitte	1300°	1400°	1400°	1200°	955°	850°	680°	140 bis 290°
Zwischen Mitte und Wand	1500°	1500°	1300°	1000°	700°	525°	432°	
An den Wänden . . .	1600°	1300°	1400°	1200°	900°	815°	575°	

In der Mitte und unmittelbar an den Wänden herrschte demnach ziemlich regelmäfsig die höchste Temperatur, und dazwischen befand sich ein kühlerer Ring. In dem oberen Teile des Ofens aber zeigte sich auch an den Wänden eine rascher fortschreitende Abkühlung als in der Mitte des Ofens.

Letztere Erscheinung läfst sich aus dem Umstande erklären, dafs beim Aufgichten die Erze mehr an dem Umfange, die Koks mehr in der Mitte des Ofens angehäuft wurden; erstere aber verbrauchten wegen ihres gröfseren Wassergehalts sofort reichlichere Wärmemengen als letztere. Die höhere Temperatur an den Ofenwänden im Vergleich zu der Temperatur zwischen Wand und Ofenmitte findet ihre Erklärung in dem Bestreben der Gase, an den Wänden aufzusteigen.

To here

e Einflufs der Windpressung und Windmenge auf die Vorgänge im Hochofen.

Zur Erlangung eines befriedigenden Schmelzganges des Hochofens ist eine bestimmte Windpressung (Spannung) und eine bestimmte Windmenge erforderlich, deren Mafs vornehmlich von den Abmessungen des Ofens und der Beschaffenheit des Brennstoffs abhängt.

Mit der Windpressung wächst die Geschwindigkeit und mit dieser die lebendige Kraft des Windes. Durch stärkere Pressung wird demnach der Wind befähigt, die Widerstände, die sich seinem Vordringen zwischen den Stücken des Brennstoffs hindurch bis zur Mitte entgegenstellen, erfolgreicher zu überwinden. Die Sauerstoffteilchen prallen mit gröfserer lebendiger Kraft gegen die Kohlenstücke an und treten in innigere Berührung mit diesen; die Verbrennung zu Kohlenoxyd wird beschleunigt, die Verbrennung auf einen kleineren Raum zusammengedrängt. Je dichter, d. i. schwerer

verbrennlich, der Brennstoff ist, desto höhere Pressung ist demnach erforderlich. Koks erheischen stärkere Windpressung als Holzkohlen, Anthracite stärkere als Koks.

Damit aber das Ziel, den Wind bis zur Ofenmitte vordringen zu lassen, erreicht werde, mufs auch die Pressung mit dem Durchmesser des Ofens in der Formenebene wachsen. Dafs bei weiten Gestellen das Vordringen des Windes bis zur Ofenmitte durch Vorschieben der Windformen erleichtert werden könne, wurde auf S. 64 hervorgehoben.

Die mit dem Manometer mefsbare Windpressung ist aber nicht allein von der Windgeschwindigkeit, sondern auch von der im Hochofen herrschenden Gasspannung abhängig. Mit der letzteren mufs die Windpressung wachsen, damit der eintretende Wind die Kraft besitze, die Gase im Ofen emporzutreiben. Die Gasspannung im Ofen nimmt mit dessen Höhe zu, da sie durch die Widerstände hervorgerufen wird, welche die Gase beim Durchdringen der Schmelzsäule finden. Auch die Stückgröfse der Beschickung ist von Einflufs. Je feinstückiger die Bestandteile der Beschickung, insbesondere die Erze sind, desto dichter liegen sie, desto gröfseren Widerstand setzen sie dem Aufsteigen des Gasstroms entgegen. Hieraus folgt, dafs das Mafs der Windpressung auch mit der Höhe des Ofens und der Dichtigkeit der Beschickung zunehmen mufs.

Eine übermäfsig gesteigerte Windpressung kann dagegen Stauungen der eintretenden Windströme herbeiführen, hierdurch die Windverteilung ungleichmäfsiger gestalten und die Leistung des Gebläses beeinträchtigen. Je enger der Ofen in der Formenebene ist, desto leichter mufs dieser Nachteil eintreten, und ein zu weites Vorschieben der Windformen in den Ofen hat den nämlichen Erfolg.

Erhöht man bei einem Hochofen die Windpressung, ohne den Düsenquerschnitt zu verringern, so führt man eine gröfsere Windmenge in den Ofen. In derselben Zeit wird mehr Brennstoff als zuvor verbrannt und mehr Wärme erzeugt; die Durchsetzzeit für die Erze wird abgekürzt, die Erzeugung des Ofens wächst. Die Gase steigen mit beschleunigter Geschwindigkeit im Ofen auf, da ihre Menge im geraden Verhältnisse zu der Menge des verbrannten Kohlenstoffs steht, und verlassen den Ofen im heifseren Zustande; die Gichttemperatur steigt. Entsprach die Windmenge zuvor dem günstigsten Verlaufe des Schmelzganges, so mufs durch die Vermehrung der Windmenge der Verlauf geschädigt werden, und für die Darstellung einer bestimmten Roheisenmenge mufs der Brennstoffverbrauch wachsen. Denn die rascher niederrückenden Erze gelangen weniger vorbereitet in den Schmelzraum; mehr Eisen wird hier verschlackt und mufs durch Kohle statt durch Kohlenoxyd reduziert werden; die heifseren Gichtgase aber führen eine gröfsere Wärmemenge als früher ungenutzt davon.

Aber auch eine zu geringe Windmenge ist nachteilig für die Ausnutzung des Brennstoffs. Weniger Wärme wird in bestimmter Zeit entwickelt, und die unvermeidlichen Wärmeverluste durch Abgabe an die äufsere Luft und das Kühlwasser verringern sich nicht in dem gleichen Mafse; das Verhältnis zwischen Wärmeerzeugung

und Wärmeverlusten wird ungünstiger. Nicht minder nachteilig ist der Umstand, dafs die langsamer aufsteigenden Gase längere Zeit als sonst mit den niederrückenden Kohlen in Berührung bleiben, und dafs hierdurch reichlichere Gelegenheit zur Reduktion von Kohlendioxyd durch Kohle gegeben ist. Mehr Kohle als sonst wird hierdurch ihrer Bestimmung entzogen.

Mit der Gröfse des Ofens mufs demnach die zur Erzielung des günstigsten Schmelzganges erforderliche Windmenge wachsen. Auch die Beschaffenheit der Erze spricht hierbei mit. Schwer reduzierbare Erze erfordern eine längere Durchsetzzeit als leicht reduzierbare; Hochöfen, welche die ersteren verhütten, vertragen nicht die gleiche Windmenge wie solche, in denen die letzteren geschmolzen werden.

Die von der Windmenge und der Gröfse des Hochofens abhängige Durchsetzzeit beträgt bei kleinen, mit Holzkohlen und leicht reduzierbaren Erzen auf Weifseisen betriebenen Öfen bisweilen nicht mehr als 6 Stunden und kann bei sehr grofsen, auf graues Roheisen betriebenen Hochöfen bis auf 60 Stunden sich erhöhen [1]). In der Regel findet man eine Durchsetzzeit von 12 bis 24 Stunden [2]).

f) Einflufs der Winderhitzung auf die Vorgänge im Hochofen.

Nachdem auf Neilsons Vorschlag die Anwendung erwärmten Windes in Schottland zuerst versucht worden war, zeigte sich bald, dafs schon eine mäfsige Erwärmung ausreichend sei, Brennstoff zu sparen und die Erzeugungsfähigkeit des Ofens zu erhöhen. Dieser günstige Erfolg wuchs, als man durch Verbesserung der Winderhitzer sich befähigt sah, höhere Windtemperaturen als im Anfange hervorzubringen; aber gleichzeitig beobachtete man, dafs die Eigenschaften des erfolgenden Roheisens andere wurden, wenn man mit erhitztem als wenn man mit kaltem Winde arbeitete. Erst nachdem man gelernt hatte, teils durch passende Änderung der Beschickung jenen Einflüssen auf die Beschaffenheit des Roheisens entgegenzuwirken, teils das erfolgende Roheisen seiner geänderten Beschaffenheit gemäfs zu verwenden, verstummten die Gegner der Anwendung heifsen Windes, welche — ziemlich beträchtlich an Zahl — in der vermeintlichen, durch die Winderhitzung hervorgerufenen Verschlechterung des Roheisens einen gröfseren Nachteil zu sehen glaubten, als durch den erreichbaren Nutzen ausgeglichen werden könne [3]).

---

[1]) Österr. Zeitschr f. Berg- und Hüttenwesen 1882, S. 479.

[2]) „Stahl und Eisen“ 1895, S. 141 (Weinlig).

[3]) So z. B. erwies sich das bei heifsem Winde erzeugte Roheisen für die unmittelbare Herstellung von Gufswaren aus dem Hochofen oft als weniger brauchbar, da es siliciumreicher war und stärker zur Gaarschaumbildung neigte als das bei kaltem Winde erblasene. Auch seine Festigkeit war etwas geringer. Der erstgenannte Übelstand läfst sich durch die Wahl einer geeigneten Beschickung und durch Regelung des Schmelzganges beseitigen; wo man aber das Verfahren des unmittelbaren Gusses aufgab und das Roheisen demnach wieder umschmolz, erhielt man bei heifsem Winde ein für diese Betriebsweise besser geeignetes Roheisen als bei kaltem Winde. Auch die beobachtete Abminderung der Festigkeit des Roheisens läfst sich durch die erwähnten Mittel auf ein ge-

Als man nun später anfing, den Einflufs des heifsen Windes wissenschaftlich zu untersuchen, ergab sich in zahlreichen Fällen die überraschende Tatsache, dafs durch die Erwärmung des Windes mehr Brennstoff erspart werden könne, als zur Erzeugung der vom Winde mitgebrachten Wärme erforderlich gewesen sein würde; aufserdem liefs sich ziemlich regelmäfsig die Beobachtung machen, dafs die Gicht des Hochofens um so kühler wurde, je stärker man den Wind erhitzte.

Beide Wahrnehmungen stehen in naher Beziehung zueinander. Der Hochofen bedarf für jedes Kilogramm darzustellenden Roheisens einer gewissen Wärmemenge, und die Erzeugung dieser Wärmemenge ist, wie oben erwähnt wurde, der erste Zweck der Verbrennung von Kohle durch eingeblasene Luft. Jedes Kilogramm der zu diesem Zwecke verbrannten Kohle liefert eine bestimmte Gasmenge, welche im Ofen emporsteigt. Wenn nun aber ein Teil jener erforderlichen Wärme, statt durch Verbrennung von Kohle erzeugt zu werden, durch den erwärmten Gebläsewind von aufsen zugeführt wird, mufs die entstehende Gasmenge um ebenso viel geringer ausfallen, als jener Ersparung an Brennstoff entspricht; die geringere Menge Gase gibt ihre Wärme rascher und vollständiger an die entgegenrückenden festen Körper ab als die gröfsere Menge Gase beim Betriebe mit kaltem Winde. Die Wärme wird beim Betriebe mit heifsem Winde demnach günstiger ausgenutzt, und hierdurch wird eine zweite Menge Brennstoff gespart. Die Folge davon ist aber, dafs die Gase in abgekühlterem Zustande den Ofen verlassen und die Gichttemperatur sinkt. Der Einflufs der Benutzung heifsen Windes ist demnach dem oben geschilderten Einflusse der Benutzung getrockneten Windes ähnlich; aber er tritt noch deutlicher zutage, weil sich durch die vom heifsen Winde mitgebrachte Wärme schon unmittelbar eine weit gröfsere Brennstoffmenge ersparen läfst als durch die Windtrocknung.

Da die gleiche Brennstoffmenge bei heifsem Winde gröfsere Erzmengen trägt als bei kaltem, erhöht sich in gleichem Mafse die Erzeugung des Ofens, sofern die zugeführte Windmenge in beiden Fällen dieselbe ist.

Infolge der Zuführung äufserer Wärme steigt aber bei Anwendung erhitzten Windes die Temperatur vor den Formen (vergl. S. 61 I); in der höheren Temperatur wächst das Vereinigungsbestreben des Kohlenstoffs zum Sauerstoff, und rascher als bei dem Betriebe mit kaltem Winde geht die Verbrennung vor sich, d. h. verschwinden der freie Sauerstoff und das zunächst etwa gebildete Kohlendioxyd. Die Wärmeentwicklung wird bei Anwendung heifsen Windes auf einen kleineren Raum im Ofen beschränkt.

Rascher als bei dem Betriebe mit kaltem Winde sinkt jedoch jene vor den Formen erzeugte höhere Temperatur. Die Ursache dieser Erscheinung wurde bereits erwähnt; der gleichen Gasmenge treten gröfsere Mengen wärmeaufnehmender Körper entgegen, welche

---

ringeres Mafs zurückführen, und in keinem Falle ist sie so erheblich, dafs sie eine triftige Veranlassung bilden könnte, auf die Vorteile der Anwendung erhitzten Windes zu verzichten.

ihr Wärme entziehen. Die für den Verlauf des Schmelzganges und die Ausnutzung des Brennstoffs so nachteilige Entstehung von Oberfeuer (Aufsteigen der Schmelztemperatur nach oben) wird also durch Anwendung heifsen Windes auf seltenere Fälle beschränkt. Andernteils kann unter Umständen, z. B. bei einem Hochofen, welcher wasserreiche Erze schmelzt und demzufolge eine kühle Gicht besitzt, durch die Erniedrigung der Gichttemperatur auch die Vorbereitung der Erze in dem oberen Teile des Ofens verzögert werden; die Reduktion beginnt später, und die Reduktion durch Kohlenoxyd kann hierdurch eingeschränkt werden. Je weniger hoch der Ofen ist, je weniger lange mithin die Erze der Einwirkung des Gasstromes ausgesetzt bleiben, desto leichter müssen die Folgen hiervon bemerkbar werden.

Die Verbrennung von Kohlenstoff vor den Formen hat aber neben der Erzeugung von Wärme den nicht minder wichtigen Zweck, das als Reduktionsmittel erforderliche Kohlenoxyd zu liefern. Wird durch Erwärmung des Gebläsewindes Kohlenstoff erspart, so verringert sich dadurch auch die Menge des entstehenden Kohlenoxyds; bei weiterer Verringerung des Brennstoffs mufs also eine Grenze erreicht werden, wo die Menge des vor den Formen entstehenden Kohlenoxyds nicht mehr ausreichend ist, die Reduktion durchzuführen, und wo demnach Reduktion durch Kohle, gleichbedeutend mit einem erhöhten Wärmeverbrauche, an deren Stelle tritt. Je weniger Brennstoff schon bei kaltem Winde zur Durchführung des Schmelzens, d. h. zur Darstellung einer bestimmten Menge Roheisen, erforderlich war, desto früher mufs jener Zeitpunkt eintreten; bei einer leicht reduzierbaren Beschickung also früher als bei einer schwer reduzierbaren; bei Darstellung von gewöhnlichem silicium-, phosphor- und manganarmen Weifseisen früher als bei Darstellung von Roheisensorten, welche einen gröfseren Gehalt von Silicium, Phosphor oder Mangan aufnehmen sollen, also von Körpern, deren Reduktion durch Kohle ohnehin einen gröfseren Aufwand von Wärme notwendig macht.

Die Vorteile der Beschränkung des Verbrennungsvorganges auf einen kleineren Raum durch Anwendung heifsen Windes treten aber um so deutlicher hervor, je schwerer verbrennlich der angewendete Brennstoff ist; bei Anthraciten mehr als bei Koks, bei diesen mehr als bei Holzkohlen.

Aus allem Gesagten folgt, dafs die Windtemperatur, deren Steigerung aufhört, Nutzen zu bringen, unter Umständen sogar nachteilig wirkt, um so tiefer liegt,

- je kleiner der Ofen und je kälter seine Gicht ist;
- je leichter reduzierbar die Erze sind;
- je weniger reich an Mangan, Silicium oder Phosphor das erfolgende Roheisen werden soll;
- je leichter verbrennlich der Brennstoff ist.

Die Beobachtungen des Betriebes bestätigen diese Schlufsfolgerungen. Während bei grofsen mit Koks (Steinkohlen, Anthraciten) gespeisten Hochöfen, welche silicium-, phosphor- oder manganreiches Roheisen erzeugen, selbst mit einer nur in steinernen Winderhitzern erreichbaren Windtemperatur von 900° C. die

Grenze des Zweckmäfsigen noch nicht überschritten, bei Verhüttung weniger leicht reduzierbarer Erze vermutlich noch nicht einmal erreicht ist, pflegt bei Darstellung mangan- und phosphorarmen Weifseisens in denselben Öfen eine Steigerung der Windtemperatur über 500° C. hinaus wenig Nutzen zu bringen und sogar die Entstehung des graphitfreien Weifseisens zu erschweren, da in der höheren Temperatur vor den Formen leichter Silicium reduziert wird. Beim Betriebe mit Holzkohlen in weniger grofsen Öfen geht man auch bei Graueisendarstellung mit der Erhitzung des Windes selten über 400—500° C. hinaus, und bei Weifseisendarstellung aus leicht reduzierbaren Erzen mit Holzkohlen ist schon bei 300° C. die Grenze des Zweckmäfsigen bisweilen erreicht[1]).

Bei dem Betriebe eines sehr kleinen, mit Rasenerzen (also leicht reduzierbaren, wasserreichen Erzen) auf graues Roheisen betriebenen Holzkohlenhochofens blieb eine Steigerung der Windtemperatur über 300° C. hinaus vollständig nutzlos; weder eine Vermehrung der Roheisenerzeugung noch eine Verringerung des Brennstoffverbrauchs war dadurch erreichbar, und nach mehrwöchentlichem Betriebe mit hocherhitztem Winde sah man aus diesem Grunde davon ab, den Wind stärker als auf die angegebene Temperatur zu erhitzen[2]).

Auch auf die chemische Beschaffenheit des erfolgenden Roheisens werden beachtenswerte Einflüsse durch die Erhitzung des Windes ausgeübt. Die vor den Formen herrschende höhere Temperatur befördert die Reduktion von Mangan, Silicium und anderen schwer reduzierbaren Körpern. Eine hochgetriebene Winderhitzung ist auch aus diesem Grunde für Darstellung silicium- oder manganreicher Roheisensorten von Nutzen, und die stärkere Anreicherung dieser Körper in solchem Roheisen, welches unmittelbar aus dem Hochofen, ohne umgeschmolzen zu werden, zu Gufswaren verarbeitet werden soll, bildete Jahrzehnte hindurch den Haupteinwand gegen die Anwendung erhitzten Windes. Durch Verhüttung kieselsäureärmerer oder manganärmerer Beschickungen läfst sich jenen Einflüssen der Winderhitzung entgegenwirken; aber auch bei dem Betriebe auf gewöhnliches Weifseisen zeigt sich, wie erwähnt, leichter die Neigung des gebildeten Roheisens, durch Siliciumaufnahme grau zu werden, wenn man den Hochofen mit erhitztem Winde betreibt. Ein besonders kräftiges Reduktionsmittel für Silicium bildet aber der im flüssigen Roheisen enthaltene Kohlenstoff; daher erklärt es sich, dafs bei heifsem Winde erblasenes Roheisen häufig kohlenstoffärmer ist als bei kaltem Winde erblasenes. Nachfolgende Beispiele zweier Roheisensorten, welche mit Holzkohlen in demselben (jetzt nicht mehr bestehendem) Hochofen zu Ilsenburg aus den gleichen Erzen, das eine mit heifsem Winde, das andere mit kaltem Winde, erblasen wurden, lassen den Unterschied erkennen[3]).

---

1) Vergl. Jahrbuch der österreichischen Bergakademien, Band 21, S. 357 (Tunner).

2) Beobachtung des Verfassers.

3) Vom Verfasser angestellte Untersuchung.

	Bei heifsem Winde erblasen	Bei kaltem Winde erblasen
Kohlenstoff	4,068	4,863
Silicium	1,168	0,685
Mangan	0,882	0,298
Phosphor	0,545	0,559
Schwefel	0,081	0,084
Kupfer	0,016	0,028
Chrom	0,084	0,080
Arsen	Spur	0,000
Antimon	0,050	0,081
Vanadin	0,011	0,022

Eine deutliche Abweichung ist hier nur im Kohlenstoff- und Siliciumgehalte erkennbar; auch der etwas höhere Mangangehalt des mit heifsem Winde erblasenen Roheisens deutet auf den Einflufs des heifsen Windes hin. Die übrigen Unterschiede sind zu unerheblich, um Schlufsfolgerungen zu ermöglichen.

g) Gaargang und Rohgang.

Verläuft das Schmelzen in regelrechter Weise, so geht der Hochofen gaar; treten Störungen ein, so entsteht Rohgang.

Die Ursachen des Rohganges können verschieden sein. Unregelmäfsigkeiten beim Aufgichten, grofser Feuchtigkeitsgehalt der Schmelzstoffe bei anhaltendem Regenwetter, schlechte Beschaffenheit der Brennstoffe, unrichtige Zusammensetzung der Beschickung, wodurch vorzeitige Schmelzung hervorgerufen wird, zu schwere Erzsätze, Abkühlung des Gebläsewindes, Lecken der Formen oder sonstigen wassergekühlten Teile, Ungleichmäfsigkeiten in dem Niederrücken der Beschickung, welche besonders häufig bei schon längere Zeit im Betriebe befindlichen Hochöfen durch deren unregelmäfsige Form herbeigeführt werden, allzu starke Beschleunigung oder in anderen Fällen unnötige Verlangsamung des Schmelzganges durch unrichtige Windführung sind häufig vorkommende Ursachen des Rohganges. Mitunter ist es schwierig, die wirkliche Ursache eines bestimmten Falls zu erforschen. Stets aber ist die Reduktion beeinträchtigt; unvollständig reduzierte Erze gelangen in reichlicherer Menge als zuvor in den Schmelzraum, um hier noch durch Kohle reduziert zu werden. Diese vermehrte Reduktion durch Kohlenstoff erheischt einen erhöhten Wärmeverbrauch; der Gleichgewichtszustand zwischen Wärmeerzeugung und Wärmeverbrauch wird gestört. Hieraus erwächst eine Abkühlung des Ofens, welche wiederum eine Zunahme des Rohganges nach sich zieht; solcherart kühlt der Ofen, wenn nicht rechtzeitig Gegenmafsregeln getroffen werden, fernerhin ab, und das Ende ist das sogenannte Einfrieren des Hochofens, dem Sterben belebter Wesen vergleichbar: der Schmelzraum ist mit erstarrten Massen verstopft, der Wind vermag nicht mehr durchzudringen, die Glut erlischt, und der ganze Ofen wird kalt.

Eine Hauptsorge jeden Hochofenmanns ist es daher, die Kenn-

zeichen des eintretenden Rohganges rechtzeitig wahrzunehmen, um geeignete Mittel zu dessen Beseitigung ergreifen zu können.

Am deutlichsten und frühzeitigsten pflegt die Beschaffenheit der Schlacken den beginnenden Rohgang zu verraten. Die Reduktion des Eisens ist weniger vollständig als zuvor, die entstehende Schlacke ist eisenreicher. Helle Schlacken werden dunkler, grün, zuletzt schwarz. Durch das Kohlenoxydgas, welches bei der noch im Schmelzraume fortgesetzten Reduktion von Eisen aus den Schlacken sich entwickelt, werden sie aufgebläht, und nach dem Erstarren zeigen sie sich von Gasblasen durchsetzt, welche Erscheinung sich besonders deutlich bei den zähen Schlacken der mit Holzkohlen auf graues Roheisen betriebenen Hochöfen wahrnehmen läfst. Nachstehende Beispiele der Zusammensetzung einer Gaarschlacke und einer Rohschlacke des (inzwischen eingegangenen) Holzkohlenhochofens zu Zorge am Harz lassen den Unterschied erkennen[1]).

	Gaarschlacke, graublau	Rohschlacke, schwarzgrün
Kieselsäure	49,80	48,62
Tonerde	12,17	10,75
Kalkerde	31,28	26,02
Magnesia	2,28	1,15
Eisenoxydul	0,79	8,59
Manganoxydul	0,95	1,47
{Schwefel	0,19	0,06
{Calcium	0,24	0,08
Kaliumoxyd	2,61	n. best.

Beachtenswert ist aufser dem höheren Eisenoxydul- und Manganoxydulgehalte der Rohschlacke ihr geringerer Schwefelgehalt; in der niedrigeren Temperatur des Rohganges nahm die Schlacke weniger Schwefel auf. Die Analysen des mit diesen beiden Schlacken erfolgten Roheisens sind auf S. 21 mitgeteilt; das bei Rohgang erfolgte ist schwefelreicher. Die gleiche Erscheinung ist fast immer bemerkbar. Die Schlackenmenge wird bei Rohgang reichlicher, da eine gröfsere Menge von Bestandteilen der Beschickung (Eisen, Mangan, Silicium) unreduziert verschlackt wird; die Schlacke selbst wird durch den gröfseren Eisen- und Manganoxydulgehalt häufig dünnflüssiger, erstarrt aber gewöhnlich rasch. Nimmt jedoch die Abkühlung des Ofens zu, so bleibt auch die erfolgende Schlacke kälter und verliert dann ihre Dünnflüssigkeit. Ist man mit der äufseren Beschaffenheit (Farbe, Dünnflüssigkeit) der gaaren Schlacke eines Hochofens bei dem Betriebe auf diese oder jene Roheisensorte vertraut, so geben die bei Rohgang eintretenden Veränderungen dieser Beschaffenheit ein zuverlässiges Merkmal für den Beginn des Rohganges.

Etwas später verrät die veränderte Beschaffenheit des erfolgenden Roheisens den eingetretenen Rohgang. Fremdkörper werden weniger vollständig reduziert, das Eisen wird ärmer an

[1]) Vom Verfasser angestellte Untersuchung.

Silicium und Mangan. Auch der Kohlenstoffgehalt sinkt; denn die Berührung mit der im Schmelzraume anwesenden eisenreicheren Schlacke macht die Aufnahme eines reichen Kohlenstoffgehalts unmöglich, welcher durch den Eisenoxydulgehalt der Schlacke verbrannt werden würde [1]). Ging der Ofen auf Graueisen, so erfolgt graphitärmeres Roheisen, sobald Rohgang eintritt, schliefslich grelles; wurde er auf Spiegeleisen betrieben, so erhält man bei schwachem Rohgange Weifsstrahl, bei stärkerem Rohgange Treibeisen. Schon an dem abweichenden Verhalten des fliefsenden Roheisens vermag das geübte Auge die geänderte Beschaffenheit zu erkennen. Das bei Rohgang erblasene Roheisen ist, da es bei niedrigerer Temperatur im Schmelzraume erfolgte, weniger stark überhitzt als das bei Gaargang erblasene; es ist ohnehin dickflüssiger wegen seines geringen Gehalts an Kohlenstoff, Silicium und Mangan. Daher fliefst es träge, wirft reichlich Funken und erstarrt rasch, dabei mitunter tiefe Löcher an der Oberfläche bildend.

Sieht man durch die Formen in den Ofen, so gewahrt man bei Gaargang, sobald sich das Auge an das blendende Licht gewöhnt hat, die verbrennenden Kohlen und die gleichmäfsig niedertropfenden flüssigen Massen. Die Weifsglut deutet auf hohe Temperatur; Ansätze an den Formen sind wenig bemerkbar und lassen sich ohne Schwierigkeit entfernen. Bei Rohgang verlieren die Formen an Helligkeit; die schmelzende Schlacke zeigt sich in unruhiger Bewegung, erzeugt durch die unter Kohlenoxydentwicklung noch stattfindende Reduktion von Eisen. Kommt das unmittelbar über den Formen reduzierte, also noch kohlenstoffarme, schwerschmelzige Eisen in Berührung mit den kälteren Ofenwandungen, insbesondere mit dem Rüssel der Formen oder sonstigen gekühlten Teilen, so setzt es sich hier als sogenanntes Frischeisen fest — es ist tatsächlich schmiedbares Eisen —, Ansätze bildend, welche, wenn sie nicht beseitigt werden, immer mehr wachsen und Veranlassung zu einer vollständigen Verstopfung des Ofens geben können. Die Beseitigung dieses zähen, fest an den Wänden haftenden Frischeisens aber ist schwieriger als die Beseitigung von entstandenen Schlackenansätzen.

Bei Öfen, welche mit Koks und hocherhitztem Winde betrieben werden, tritt diese Erscheinung weniger bemerkbar hervor als bei Holzkohlenbetrieb und weniger heifsem Winde, besonders wenn man mit Holzkohlen graues Roheisen darstellt. Die wenigen Eisenhüttenleute, welche noch den Betrieb mit kaltem Winde gekannt haben, erinnern sich sehr wohl der beschwerlichen Arbeit, welche das Losbrechen dieser Frischeisenansätze veranlafste. Schwere eiserne Stangen, Rengel, wurden unter dem Tümpel hinweg in den Ofen geführt, und durch Stofsen und Drücken damit wurde das angesetzte Eisen entfernt. Seit Einführung der Winderhitzung ist auch bei Holzkohlenhochöfen die Arbeit des „Rengelns" seltener und weniger beschwerlich geworden; aber die Einrichtung der

[1]) Auf S. 207 I ist diese Wechselbeziehung zwischen der Zusammensetzung der Schlacke und der des Eisens ausführlicher besprochen worden.

Öfen mit offener Brust verdankt, wie früher erwähnt wurde, dem Umstande ihre Entstehung, dafs bei geschlossener Brust die Entfernung der Frischeisenansätze kaum möglich ist.

Auch das Äufsere der Gichtflamme läfst in den seltenen Fällen, wo der Ofen mit ganz oder teilweise offener Gicht arbeitet, meistens deutlich den Eintritt von Rohgang erkennen. Sie verliert an Lebhaftigkeit, die beim Gaargang blaue Farbe wird gelblicher, der weifse Beschlag, welcher sich an den kälteren Teilen der Gicht absetzt (der Gichtstaub), wird schwächer oder ändert auch wohl seine Farbe ins Gelbliche. Auch bei den Öfen mit geschlossener Gicht läfst das Aussehen der Flamme in den mit den Gichtgasen geheizten Feuerungen sowie des weifsen Rauches, welcher aus den Essen der durch Gichtgase geheizten Winderhitzer und Dampfkesselöfen entweicht und aus fortgerissenem Gichtstaube besteht, gewöhnlich mit ziemlicher Deutlichkeit Veränderungen im Gange des Hochofens wahrnehmen. Bei Gaargang pflegt er weifser und reichlicher, bei Rohgang gelblicher und weniger reichlich zu sein; doch besitzt jeder Ofen in dieser Hinsicht seine besonderen Eigentümlichkeiten, mit denen man nur durch längere Beobachtung vertraut werden kann.

War der Rohgang durch allzu reichliches Verhältnis der Erze zu den Brennstoffen entstanden, so nennt man ihn übersetzten Gang. Den Gegensatz dazu bildet der heifsgaare Gang, bei welchem die Temperatur und die Reduktionswirkung des Ofens durch ein Übermafs des benutzten Brennstoffs mehr als wünschenswert gesteigert sind. Ein graphitreiches, zur Gaarschaumbildung neigendes Roheisen erfolgt hierbei, wenn man gewöhnliches Graueisen darstellen wollte; wurde der Ofen auf weifses Roheisen oder Spiegeleisen betrieben, so entsteht graphithaltiges oder völlig graues Roheisen.

Wie der Arzt eine Krankheit am sichersten zu heilen vermag, wenn er die Diagnose richtig gestellt hat, ist es auch zur Beseitigung der Krankheiten des Hochofens, des Rohganges, notwendig, zunächst ihrer Ursache nachzuforschen. War eine Form leck geworden, so mufs sie rasch beseitigt werden; trug ein zu hohes Verhältnis des Erzsatzes zum Brennstoffsatze die Schuld, so verringert man den Erzsatz. Nicht immer jedoch ist es möglich, sofort mit Sicherheit die wahre Ursache des Rohganges zu erkennen, und in jedem Falle hat man danach zu trachten, einem ferneren Sinken der Temperatur im Ofen vorzubeugen und sie wieder auf das für den Gaargang erforderliche Mafs zu steigern. Die Erniedrigung des Erzsatzes ist auch hierzu förderlich, und sie ist deshalb fast immer das erste Mittel, welches man zur Abstellung des Rohganges anwendet. Je länger aber die Durchsetzzeit des Ofens ist, desto länger währt es, bis der Erfolg dieses Mittels eintreten kann. Rascher läfst sich bisweilen durch eine Erhöhung der Windtemperatur der Rohgang beseitigen oder abmindern. Durch Verminderung der Windmenge wird ein allzu beschleunigter Schmelzgang verzögert, die Erze erhalten längere Zeit zur Vorbereitung, die Reduktion durch Kohle wird auf ein kleineres Mafs zurückgeführt, und dieses Mittel ist vielfach bewährt.

zumal wenn gleichzeitig der Erzsatz verringert wird; in anderen, allerdings selteneren Fällen kann eine Verstärkung der Windpressung von Nutzen sein.

Haben sich im Ofeninnern infolge der fortschreitenden Abkühlung Versetzungen aus ungeschmolzenen Massen gebildet, so müssen die schon auf S. 180 erwähnten Mittel für deren Beseitigung in Anwendung kommen.

Je kleiner der Ofen ist, desto empfindlicher ist er gegen alle Einflüsse, welche Rohgang hervorrufen, desto sorgfältiger muſs die Begichtung, die Regelung der Windtemperatur und Windspannung usw. beaufsichtigt werden.

Ein bei manchen Hochöfen ziemlich häufig wiederkehrender Vorgang, dessen Folgen sehr verhängnisvoll werden können, ist das Hängen der Gichten, ein Stillstehen der bei regelmäſsigem Gange gleichmäſsig niederrückenden Beschickung während längerer Zeit, oft mehrerer Stunden oder sogar Tage, worauf dann ein plötzliches Niederstürzen folgt. Mitunter beträgt die Höhe des Absturzes in groſsen Öfen fünf Meter und darüber. Die äuſseren Erscheinungen, welche diesen Vorgang begleiten, sind nicht immer gleich. Bei manchen Öfen tritt das Hängen der Gichten nur bei Rohgang ein, und bei den meisten Öfen zeigt sich wenigstens nach dem Gichtensturze Rohgang als Folge des Umstandes, daſs die plötzlich niederrückenden Erze ungenügend vorbereitet in den Schmelzraum gelangten und die gröſsere Menge der jetzt zur Auffüllung des Ofens erforderlichen Schmelzstoffe ihn stärker als sonst abkühlte; bei vielen gröſseren Öfen ist der Vorgang dagegen besonders häufig bei Gaargang bemerkbar und veranlaſst auch keine fernere Störung des Gaarganges, sofern das Hängen der Gichten nicht allzulange währt und sich nicht etwa in kurzen Zeiträumen öfter wiederholt. Mitunter, und zwar stets bei denselben Hochöfen, ist das Niederstürzen der Gichten von einer Explosion begleitet. Es ist vorgekommen, daſs der Gichtgasfang hierbei emporgehoben und stark beschädigt, ja, daſs sogar der ganze Ofenschacht zerstört wurde[1]). Erz- und Brennstoffstücke werden aus der Gicht herausgeschleudert, und zwar mit solcher Gewalt, daſs die Dächer der umliegenden Gebäude, z. B. der Gieſshalle, dadurch zerstört werden können. Die Anbringung von Explosionsklappen auf den Gasfängen mit geschlossener Gicht ist zur Abminderung der Gefahr zweckmäſsig[2]).

In allen diesen Fällen hatte sich aus den niederrückenden Massen innerhalb der Rast — selten darüber oder im Gestell — eine Zusammenhäufung gebildet, welche gewölbartig die darauf lastende Schmelzsäule trug, während die darunter befindlichen Kohlen allmählich wegbrannten und die Erze schmolzen. So entstand ein an Umfang mehr und mehr zunehmender hohler Raum über

---

[1]) Z. B. bei einer derartigen Explosion in Hattingen. Vergl. hierüber „Stahl und Eisen“ 1903, S. 623.

[2]) Da die Ursachen dieser Explosionen noch nicht in allen Fällen mit Sicherheit erforscht und die Ansichten der Eisenhüttenleute darüber geteilt sind, möge in dieser Beziehung auf die unten gegebene Literatur verwiesen werden.

den Formen, bis jenes Gewölbe plötzlich zusammenbrach und nunmehr der plötzliche Niedergang der Beschickung eintrat.

Verschiedene Umstände können zur Bildung des Gewölbes Veranlassung geben.

Ist die gewählte Form des Ofeninnern nicht günstig für einen gleichmäſsigen Niedergang der Schmelzsäule, so können auf der Rast Stauungen entstehen, welche den Vorgang veranlassen. Der Fall tritt vornehmlich dann ein, wenn der Übergang zwischen dem Kohlensack und dem Gestell zu rasch stattfindet, d. h. der Rastwinkel zu wenig steil, oder wenn das Gestell zu eng ist. Die Rast dient alsdann als Widerlager für das Gewölbe.

Zwischen je zwei benachbarten Windformen befindet sich an der Wand des Ofens ein Raum, welcher von dem Verbrennungsvorgange um so weniger berührt wird, je gröſser die Geschwindigkeit (Spannung) des eintretenden Windes ist, je weiter die benachbarten Formen von einander entfernt und je weiter sie im Ofen vorgeschoben sind. Auch starke Erhitzung des Windes befördert die Entstehung eines solchen Raumes; denn je höher die Temperatur ist, desto rascher verschwindet unmittelbar vor den Formen der freie Sauerstoff sowie das zunächst etwa gebildete Kohlendioxyd [1]), desto kleiner wird der Verbrennungsraum, desto weniger finden oxydierende Gase Gelegenheit, sich auszubreiten und nach dem Ofenumfange zurückzutreten. Hier können also unverbrannte Kohlen sich sammeln, durch ihre Anhäufung Pfeiler bildend, welche den Querschnitt verengen und als Widerlager für die sich bildenden Gewölbe dienen.

Auch die Einrichtung des Gasfanges kann die Entstehung des Gewölbes befördern. Werden die Gase einseitig abgezogen (Pfortscher Gasfang, Parrys Gasfang), so entsteht die Gefahr, daſs die gegenüberliegende Seite des Ofens weniger stark erhitzt und auch von der Verbrennung weniger stark berührt wird. Hier ist demnach die Veranlassung zu der Bildung eines Ansatzes aus erstarrten Massen oder auch aus unverbrannter Kohle gegeben. Ist ein solcher Ansatz einmal vorhanden, so wächst er zusehends durch die bewirkte Stauung der niederrückenden Körper; die Gichten hängen einseitig, d. h. nehmen eine schiefe Lage an, wenn der Ansatz, wie in dem beschriebenen Falle, nur an der einen Seite des Ofens sich gebildet hat. Mehr und mehr aber verengt sich der Querschnitt, und schlieſslich kann die Bewegung der ganzen Schmelzsäule ins Stocken geraten.

Mitunter wirken auch mehrere Ursachen zusammen, die Erscheinung hervorzurufen. Befördert die Form des Ofeninnern, die Lage der Windformen, die Einrichtung des Gasfanges oder irgend ein anderer Umstand die Bildung von Ansätzen an den Wänden des Gestells, der Rast oder des unteren Schachts, so muſs um so leichter auf diesen Ansätzen sich ein Gewölbe bilden, je dichter die Bestandteile in der Mitte zusammengehäuft sind. Allzu feinstückige Beschaffenheit der Erze oder die manchen Erzen eigen-

---

[1]) van Vlotens Untersuchungen hierüber „Stahl und Eisen" 1893, S. 26.

tümliche Beschaffenheit, beim Niederrücken zu Pulver zu zerfallen[1]), mürbe Beschaffenheit der Brennstoffe, vorzeitige Sinterung der Erze, sei es infolge einer unrichtig gewählten Zusammensetzung der Beschickung oder der Entstehung von Oberfeuer, können in solchen Fällen die Bildung des Gewölbes veranlassen.

Den verschiedenen Ursachen entsprechend, müssen auch die Mittel zur Beseitigung des Übels verschieden sein. Ist das Gewölbe noch nicht sehr stark, so läfst sich bisweilen durch augenblickliche Abstellung des Gebläsewindes der Niedergang herbeiführen; der durch den Wind ausgeübte Druck von unten hört auf, und das Gewölbe bricht zusammen. In anderen Fällen hat ein Zurückziehen weit vorgeschobener Formen guten Erfolg. Die Verbrennung wird in gröfsere Nähe der Ofenwand verlegt; die hier angesammelten Kohlen werden verbrannt, Ansätze aus halbgeschmolzenen Massen werden geschmolzen, die Widerlager des Gewölbes werden dadurch zerstört, dieses bricht zusammen, und vorläufig, bis etwa neue Widerlager entstanden sind, ist die Gelegenheit zur Gewölbebildung beseitigt. Das Mittel ist jedoch nicht ohne Gefahr für die Arbeiter, welche das Zurückziehen der Formen ausführen müssen, während der Wind abgestellt ist, und hierbei von einer plötzlich herausschlagenden Flamme getroffen werden können.

War bei Anwendung sehr heifsen Windes mit hoher Spannung die Verbrennung allzusehr auf die Mitte des Ofens beschränkt, so dafs am Umfange sich unverbrannte Kohlen angehäuft hatten, so kann auch zeitweiliges Blasen mit kaltem Winde das Hängen der Gichten beseitigen. Die Verbrennung wird verlangsamt, der Verbrennungsraum ausgedehnt, freier Sauerstoff und Kohlendioxyd breiten sich weiter aus und treten bis zur Ofenwand zurück. Die hier angestauten Kohlen verbrennen, und das Gewölbe geht nieder.

Wird ein Hochofen, welcher auf eine bestimmte Roheisensorte betrieben worden war, auf eine andere Roheisensorte umgesetzt, wobei also die Zusammensetzung der Beschickung und das Verhältnis des Erzsatzes zum Brennstoff geändert werden, so verschwindet in der Regel die Erscheinung des Hängens auf längere Zeit. Die Verbrennung und Schmelzung vollzieht sich in anderer Weise als zuvor; die vorhandenen Ansätze werden geschmolzen oder verbrannt, und die Gelegenheit zur Gewölbebildung ist beseitigt, bis etwa neue Ansätze an anderen Stellen entstanden sind.

3. Der Betrieb mit verschiedenen Brennstoffen.

Über die Unterschiede in der Abmessung der Hochöfen, in der Zusammensetzung der Beschickung, in dem Verlaufe des Schmelzens, je nachdem Koks oder Holzkohlen als Brennstoffe dienen, sind bereits früher Mitteilungen gemacht worden. Es sei deshalb das schon Gesagte hier nur kurz zusammengefafst. Den Kokshochöfen

---

[1]) Es sei hierbei an den auf S. 313 I beschriebenen Vorgang erinnert: das Zerfallen der Erze und die Ablagerung von pulverförmigem Kohlenstoff auf den Erzen, wenn diese in bestimmter Temperatur längere Zeit der Einwirkung eines kohlenoxydreichen Gasstroms ausgesetzt sind.

gibt man gröfsere Abmessungen als den Holzkohlenhochöfen, weil die schwerer verbrennlichen Koks in beschränkterem Mafse als Holzkohlen Gelegenheit zur Reduktion des aufsteigenden Kohlendioxyds geben und auch wegen ihrer gröfseren Festigkeit dem Drucke einer hohen Schmelzsäule besser widerstehen als Holzkohlen, ohne zerdrückt oder zerrieben zu werden. Damit aber jene Schwerverbrennlichkeit der Koks nicht Veranlassung zur Entstehung von Oberfeuer gebe, ist bei den Kokshochöfen stärkere Windpressung erforderlich und stärkere Winderhitzung zweckmäfsig. Auch die gröfsere Höhe der Kokshochöfen an und für sich bedingt eine stärkere Windspannung, damit der Gasstrom befähigt werde, die Schmelzsäule zu durchdringen.

Der höhere Aschengehalt der Koks und die chemische Beschaffenheit der Koksasche an und für sich machen die Anwendung reichlicher Zuschläge beim Koksbetriebe zur Verschlackung der Asche erforderlich; der niemals fehlende Schwefelgehalt der Koks aber erheischt die Bildung basischer Schlacken, deren Schmelztemperatur wegen ihres hohen Basengehalts mitunter so hoch liegt, dafs sie in der niedrigeren Temperatur der Holzkohlenhochöfen kaum zum Schmelzen zu bringen sein würden[1]).

Rohe Brennstoffe haben in allen Fällen den Nachteil, dafs durch die bei ihrer Zersetzung eintretende Gasentwicklung Wärme gebunden und die Gasspannung im Ofen erhöht wird; ferner, dafs die Formveränderung, welche sie selbst bei der Zersetzung erleiden, den gleichmäfsigen Niedergang der Schmelzsäule schädigen kann. Backende Steinkohlen sind aus letzterem Grunde für die Verwendung beim Hochofenbetriebe ohne vorausgegangene Verkokung völlig ausgeschlossen. Nichtbackende langflammige Kohlen finden in einzelnen Fällen Verwendung (Schottland), aber der Betrieb damit ist schwieriger als mit Koks. Mit den Gasen der damit betriebenen Hochöfen entweicht alsdann der reiche, bei der Zersetzung der Steinkohlen entstehende Teer- und Ammoniakgehalt. Seitdem man die Vorteile der Gewinnung dieser Nebenerzeugnisse bei der Verkokung erkannte, hat man auch bei den schottischen Hochöfen entsprechende Einrichtungen eingeführt, um den Gichtgasen die genannten Körper zu entziehen. Der erlangte Nutzen soll erheblich sein (vergl. Literatur).

In anderen Bezirken hat man es bisweilen zweckmäfsig gefunden, den als Hauptbrennstoff dienenden Koks eine gewisse Menge roher, nichtbackender Steinkohlen zuzusetzen. Unmittelbar kann eine Ersparung damit verknüpft sein, wenn die rohen Kohlen billiger sind als die Koks; die bei der Zersetzung der rohen Kohlen entstehenden Gase vermehren die Menge der reduzierenden Körper und er-

---

[1]) Die bei Benutzung von Koks erreichbare höhere Temperatur ist, abgesehen von der üblichen Anwendung heifseren Windes, eine Folge des gröfseren spezifischen Gewichts der Koks. Sie nehmen einen kleineren Raum ein; die Verbrennungserzeugnisse treten deshalb im ersten Augenblicke mit einer geringeren Menge wärmeaufnehmender Körper in Berührung, die Temperatur im Verbrennungsraume fällt höher aus. Auch die gröfsere Höhe der Kokshochöfen trägt zur Steigerung der Temperatur im Verbrennungsraume bei, da die Körper stärker vorgewärmt in diesen einrücken.

schweren die Vergasung von Kohlenstoff durch Kohlendioxyd im oberen Teile des Ofens, indem sie das Kohlendioxyd verdünnen, und wenn der Ofen zur Bildung von Oberfeuer neigt, so vermag die bei der Zerlegung der rohen Steinkohlen eintretende Wärmebindung dem entgegenzuwirken. Bei einigen oberschlesischen Hochöfen liefs man früher ein Drittel der Brennstoffgicht aus nichtbackenden Steinkohlen bestehen; aber ausreichend aschearme Steinkohlen treten nur in beschränkter Menge auf, und aus diesem Grunde fand man es vorteilhafter, zur alleinigen Benutzung von Koks, aus aufbereiteten Kohlen gewonnen, zurückzukehren [1]). Selbst beim Holzkohlenbetriebe hat man es bisweilen zweckmäfsig gefunden, eine kleine Menge aschenarmer Steinkohle zuzusetzen.

Auch Anthracite dienen in einzelnen Fällen als Brennstoffe für den Hochofenbetrieb (Pennsylvanien, Wales). In der Zusammensetzung steht der Anthracit den Koks nahe, und die Gasentwicklung bei seiner Zersetzung ist nicht erheblich; aber er ist dicht, schwer verbrennlich und besitzt die Neigung, beim Erhitzen in kleine Stücke zu zerspringen. Diese Eigenschaften erschweren seine Verwendung. In Rücksicht auf seine Schwerverbrennlichkeit wählt man Stücke von geringerer Gröfse, wodurch die dem Winde dargebotene Oberfläche vergröfsert wird; am geeignetsten sollen sich Stücke von ungefähr 100 mm im Durchmesser erweisen. Ein anderes Mittel zur Beförderung der Verbrennung ist starke Windpressung; auch in Rücksicht auf das erwähnte häufig eintretende Zerspringen der Stücke in noch kleinere Brocken ist eine hohe Windpressung notwendig, um den Gasen das Durchdringen der dichtliegenden Beschickung zu ermöglichen. Man gibt deshalb den Anthracithochöfen Gebläse, welche imstande sind, nötigenfalls eine Pressung von 1,5 kg auf 1 qcm zu entwickeln, obschon während des gewöhnlichen Betriebes selten eine höhere Windspannung als 0,6 bis 1 kg auf 1 qcm erforderlich ist. Auch hochgetriebene Winderhitzung befördert die Verbrennung der Anthracite. Jenes Zerfallen aber kann zur Entstehung der mehrfach erwähnten, oft nur sehr schwierig zu beseitigenden Versetzungen Veranlassung geben, gebildet durch ein Gemenge von Anthracitpulver mit gesinterten Massen.

Daher ist die Zahl der Hochöfen, welche nur mit Anthraciten betrieben werden, nicht erheblich; häufiger mischt man die Anthracite mit Koks, um jene Nachteile abzumindern.

Braunkohlen, rohes Holz, Torf eignen sich noch weniger als Steinkohlen für den Hochofenbetrieb, da die bei ihrer Zersetzung entweichende Gasmenge noch erheblicher ist. Wohl aber findet man es bisweilen nützlich, kleinere Mengen auch dieser Brennstoffe den verkohlten zuzusetzen. Die Gründe dafür sind die nämlichen wie für den Zusatz roher Steinkohlen. Versuche über die Verwendbarkeit von Braunkohlen beim Hochofenbetriebe, welche bei verschiedenen Hochöfen der österreichischen Alpenländer und Ungarns angestellt wurden, ergaben, dafs ein mäfsiger

---

[1]) Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen in Preufsen, Band 22, S. 284.

Zusatz zu verkohlten Brennstoffen (Koks oder Holzkohlen) zweckmäfsig sein könne, sofern der Preis der Braunkohlen entsprechend niedrig ist. Gedarrtes Holz ist früher mehrfach, z. B. bei Harzer Holzkohlenhochöfen, den Holzkohlen mit gutem Erfolge in ziemlich reichlicher Menge (bis zur Hälfte der Brennstoffgicht) zugesetzt worden. Wo aber das Holz im Walde, fern von der Hütte, verkohlt wird, die Fracht nach dem Hochofen also einen nicht unbeträchtlichen Teil der Selbstkosten des Holzes und der Holzkohlen ausmacht, kommt der Umstand in Betracht, dafs aus 100 kg Holz nur etwa 22 kg Holzkohlen erfolgen, man also mehr als die vierfachen Frachtkosten zu tragen hat, wenn man das rohe Holz statt der Kohlen nach der Hütte abfahren läfst. Dieser Preisunterschied erklärt es zum Teile, dafs die Anwendung rohen Holzes beim Hochofenbetriebe im allgemeinen ziemlich selten geblieben ist.

Die Erfolge, welche die Gasfeuerung auf anderen Gebieten erlangte, haben bisweilen auch zu Vorschlägen und vereinzelt zu Versuchen verleitet, das Hochofenschmelzen mit Gasfeuerung zu bewirken. Ein Erfolg ist hierbei nicht erreichbar, wie sich aus der früher gegebenen Schilderung der Eigentümlichkeiten des Hochofenschmelzens ergibt. Denn der feste Kohlenstoff hat im Hochofen den mehrfach erwähnten doppelten Zweck zu erfüllen: er soll durch Verbrennung zu Kohlenoxyd das Reduktionsmittel für die Erze liefern, bei dieser Verbrennung aber zugleich die zur Durchführung des ganzen Verfahrens notwendige Wärme entwickeln. Wollte man diese Wärme durch Verbrennung von Gasen gewinnen, so würden die Verbrennungserzeugnisse aus Kohlendioxyd und Wasserdampf bestehen, also aus Körpern, welche in der Schmelztemperatur des Roheisens oxydierende statt reduzierende Wirkungen ausüben würden. Eine sehr starke Verdünnung der Verbrennungsgase durch unverbrannte Gase, d. h. die Zuleitung eines grofsen Gasüberschusses, würde notwendig sein, um die oxydierende Wirkung aufzuheben. Mit der Menge der unverbrannt bleibenden Gase, welche ebenfalls auf die Temperatur des Schmelzraumes erhitzt werden und später die Reduktion bewirken müssen, wächst aber die Schwierigkeit, jene Temperatur hervorzubringen. Auch durch starke Vorwärmung der Gase und des Gebläsewindes würde es nicht möglich sein, dieses Hindernis zu beseitigen.

4. Der Betrieb auf verschiedene Roheisengattungen und die Berechnung der Beschickung.

a) Allgemeines.

Die Beschaffenheit des im Hochofen erfolgenden Roheisens ist von verschiedenen Umständen abhängig.

Zunächst von der chemischen Zusammensetzung der verhütteten Erzsorten. Aus einem manganarmen Erze kann kein manganreiches Roheisen entstehen; aus einem phosphorreichen Erze kein phosphorarmes Roheisen.

Alsdann von der Temperatur im Schmelzraume des Ofens. Die

Reduktion von Mangan und Silicium in gröfseren Mengen erfordert hohe Temperaturen; daher lassen sich silicium- oder manganreiche Roheisensorten nicht in kalt gehenden Hochöfen darstellen. Die Temperatur im Ofen hängt ab von der Temperatur des Gebläsewindes, der Beschaffenheit des Brennstoffs, dem Verhältnis der Menge des Brennstoffs zum Erzsatze und dem Wärmeverbrauche des Ofens; letzterer aber ist beträchtlicher, wenn gröfsere Mengen Mangan und Silicium reduziert und schwer reduzierbare Erze geschmolzen werden, als im umgekehrten Falle[1]. Alle diese Umstände zusammen machen einen um so gröfseren Brennstoffverbrauch und Anwendung stärker erhitzten Windes erforderlich, je reicher an Silicium oder Mangan das Roheisen werden soll, und je schwerer reduzierbar die Erze sind.

Ferner von der Windmenge, welche der Ofen in bestimmter Zeit erhält; oder richtiger von dem Verhältnisse dieser Windmenge zu dem Rauminhalte des Hochofens. Je mehr Wind dem Ofen zugeführt wird, desto rascher verläuft das Schmelzen, desto gröfser ist die Menge des dargestellten Roheisens, aber desto leichter tritt vorzeitige Verschlackung unreduzierten Eisens ein, und desto mehr wird die Reduktion von Silicium oder Mangan eingeschränkt, welche beide nur aus eisenarmen Schlacken reduziert werden können. Ein Hochofen, welcher auf gewöhnliches Weifseisen betrieben wird, verträgt daher und erfordert sogar eine stärkere Beschleunigung des Schmelzganges als ein solcher, welcher graues oder manganreiches Roheisen darstellen soll.

Endlich auch von der chemischen Zusammensetzung der gesamten Beschickung, welche die Zusammensetzung der erfolgenden Schlacke bedingt. Roheisen, welches bei verhältnismäfsig geringem Brennstoffaufwande in niedriger Temperatur erfolgt (gewöhnliches Weifseisen), würde sich nicht erzeugen lassen, wenn die miterfolgende Schlacke zu strengflüssig wäre, um in jener niedrigen Temperatur zu schmelzen; andrerseits ist für die Bildung von Roheisen, welches reichlichere Mengen schwerreduzierbarer Körper (Silicium, Mangan) aufnehmen soll und einer hohen Temperatur für seine Entstehung bedarf (Siliciumeisen, grauem Roheisen, Spiegeleisen, Eisenmangan), eine solche Zusammensetzung der Schlacke förderlich, dafs sie nicht allzu zeitig schmilzt und dabei einen gröfseren Eisenoxydulgehalt aufnimmt. Auch noch in anderer Weise ist die Zusammensetzung der Schlacken von Einflufs auf die Zusammensetzung des Roheisens. Mangan wird um so leichter reduziert, je basischer die Schlacke ist, Silicium leichter aus saurer Schlacke; enthält aber die Beschickung Schwefel, so geht dieser nur in kalkreiche Schlacke über, und ein Betrieb mit mineralischen Brennstoffen, zumal mit Koks, welche stets Schwefel enthalten, liefert deshalb nur dann ein brauchbares Roheisen, wenn die Schlacke ausreichend basisch ist. Ihr Kieselsäuregehalt darf nicht erheblich über den eines Singulosilikats hinausgehen.

---

[1]) Von schwer reduzierbaren Erzen geht ein gröfserer Teil als von leicht reduzierbaren unreduziert in die Schlacke ein, um aus dieser erst durch Kohle reduziert zu werden. Auch Mangan und Silicium werden nur durch Kohle reduziert. Daher der gröfsere Wärmeverbrauch in diesen Fällen.

Durch Vermischung (Gattierung) mehrerer Erzsorten in abweichenden Gewichtsverhältnissen oder durch Zusatz geeigneter Zuschläge ist man imstande, verschiedene Roheisensorten aus den gleichen Erzen darzustellen, wenn auch die ursprüngliche Beschaffenheit der Erze sie oft mehr geeignet für den einen als für den anderen Zweck erscheinen läfst. Rasenerze, mit Quarzkörnern durchmengt, oder quarzige Roteisenerze befördern stets die Graueisenbildung; manganreiche Spate dagegen werden, auch wenn sie auf graues Roheisen verarbeitet werden, immerhin diesem die Neigung erteilen, bei rascher Abkühlung weifs zu werden, leichter aber auf weifses Roheisen oder Spiegeleisen sich verarbeiten lassen. Ein gröfserer Tonerdegehalt der Erze macht sie gewöhnlich geeigneter für Graueisen- als für Weifseisendarstellung, da er die Bildungs- und Schmelztemperatur der Schlacke erhöht; umgekehrt wird die Graueisendarstellung schwieriger, wenn nur tonerdefreie Erze zur Verhüttung vorliegen.

Selbstverständlich ist es, dafs man für Darstellung bestimmter Roheisensorten nicht Erze benutzen wird, durch welche Bestandteile, nachteilig für die Verwendung jener Roheisensorten, ihnen zugeführt werden. Die Verwendung des Spiegeleisens erheischt möglichste Reinheit von Phosphor; das gleiche ist bei dem für das saure Bessemerverfahren bestimmten grauen Roheisen der Fall. Es würde widersinnig sein, hier phosphorreiche Erze verhütten zu wollen. Weniger von Belang ist ein Phosphorgehalt in dem Giefsereiroheisen und dem gewöhnlichen Weifseisen; das basische Windfrischen (Thomasverfahren) verlangt sogar ein Roheisen mit gröfserem Phosphorgehalte. Hier also sind phosphorhaltige Erze verwendbar. Ein höherer Mangangehalt aber ist für Giefsereiroheisen von Nachteil, da er ihm die Eigenschaft verleiht, leicht hart, weifs zu werden; für die Verwendung des Weifseisens ist er eher förderlich als nachteilig. Phosphorhaltige, manganreiche Erze eignen sich demnach mehr für Weifseisendarstellung, während manganarme für beide Zwecke brauchbar sind, im allgemeinen aber, besonders bei gröfserem Tonerdegehalte, besser für Graueisen- als für Weifseisendarstellung sich verwenden lassen, wenn man ihnen nicht manganreichere Erze zuschlagen kann. Von solchen Erwägungen mufs zunächst die Benutzung der zur Verfügung stehenden Erze abhängig sein.

b) Die Entstehungsbedingungen der wichtigsten Roheisengattungen.

Siliciumeisen. Die Temperatur im Schmelzraume des Hochofens mufs hoch sein; der Wärmeverbrauch zur Reduktion des Siliciums aber ist beträchtlich, und Silicium kann nur durch Kohle (nicht durch Kohlenoxyd) reduziert werden. Diese Umstände machen ein reichliches Verhältnis des Brennstoffs zum Erze erforderlich, welches mit dem Siliciumgehalte der darzustellenden Legierung zunehmen mufs. Die Anwendung hocherhitzten Windes ist unumgänglich; bei Anwendung von Koks als Brennstoff ist erfahrungsmäfsig leichter als bei Anwendung von Holzkohlen eine

hohe Temperatur im Schmelzraume erreichbar [1]). Damit Silicium in gröfserer Menge reduziert werden kann, darf die im Schmelzraume anlangende Schlacke nicht mehr reich an Eisen sein; daher sind leicht reduzierbare Erze (Rot- und Brauneisenerze) geeigneter als schwer reduzierbare (Magneteisenerze, Frischschlacken). Da die Verwendbarkeit des Siliciumeisens Einbufse erleiden würde, wenn es einen gröfseren Phosphorgehalt besäfse, dürfen nur phosphorarme Erze Verwendung finden. Die Bildungstemperatur der Schlacke soll nicht zu niedrig liegen, damit nicht vorzeitige Verschlackung von Eisenoxydul eintrete. Ein hoher Kieselsäuregehalt der Schlacke würde zwar der Reduktion des Siliciums günstig sein, ist aber in Rücksicht auf den Schwefelgehalt der Koks nicht zulässig; ein hoher Basengehalt würde die Reduktion reichlicher Mengen Silicium erschweren. Man bildet daher tonerdereiche Schlacken, welche der Reduktion des Siliciums weniger hinderlich sind als kalkreiche mit dem nämlichen Kieselsäuregehalte, und dabei strengflüssig genug, um nicht vorzeitig zu schmelzen. Als Beispiele der Zusammensetzung mögen die nachfolgenden dienen. Die Schlacken erfolgten bei Darstellung von Siliciumeisen mit etwa 14 v. H. Silicium [2]).

	I	II
Kieselsäure	33,10 v. H.	27,70 v. H.
Tonerde	24,56 „	26,70 „
Kalkerde	25,92 „	34,69 „
Magnesia	6,97 „	3,45 „
Eisenoxydul . . .	0,81 „	Spur „
Manganoxydul . . .	0,87 „	Spur „
{Schwefel	3,45 „	2,45 „
{Calcium	4,81 „	3,08 „
Alkalien und Verlust	1,01 „	1,98 „
	100,00	100,00

Graues Roheisen. Die Entstehungsbedingungen sind denen für die Bildung des Siliciumeisens ähnlich; aber der Brennstoffverbrauch ist weniger hoch, entsprechend dem niedrigeren Siliciumgehalte des darzustellenden Roheisens, die Schlacke gewöhnlich minder strengflüssig. Schmelzt man kieselsäurereiche Erze mit Holzkohlen, so bildet man eine für die Siliciumreduktion günstig zusammengesetzte Schlacke, indem man nur wenig basische Zuschläge gibt, so dafs ein Bisilikat oder eine noch kieselsäurereichere Schlacke entsteht, und man erniedrigt auf diese Weise möglichst wenig den Eisengehalt der Beschickung. Solche kieselsäurereichen Schlacken sind freilich, zumal bei mäfsigem Tonerdegehalte, verhältnismäfsig leicht schmelzbar (Abb. 66 und 68 auf S. 211 und 213 I). Sind die Erze dagegen kalkreich (z. B. Spateisensteine), so würde die Bildung solcher kieselsäurereicher Schlacken nur durch Anwendung reichlicher Zuschläge kieselsäurehaltiger Gesteine möglich sein, wodurch der Eisengehalt der Beschickung entsprechend abgemindert werden würde. In solchen Fällen sucht man die Zusammensetzung der

[1]) Fufsanmerkung 1 auf S. 217.
[2]) Nach Untersuchungen des Verfassers.

Schlacken so zu regeln, dafs sie zwischen Singulo- und Bisilikat stehen; basischere Schlacken als Singulosilikate würden in der immerhin beschränkten Temperatur der Holzkohlenhochöfen schwierig schmelzen und die Siliciumreduktion erschweren. Sind die Erze aber reich an Magnesia, so ist man mitunter gezwungen, trotzdem noch einen Kalkzuschlag zu geben, weil die Schlacken bei zu hohem Verhältnisse der Magnesia zur Kalkerde nicht schmelzbar genug sein würden (Abb. 67 auf S. 213 I). Der Fall kommt z. B. auf ungarischen Eisenwerken vor.

Hieraus erklärt sich, dafs die Zusammensetzung der auf verschiedenen Hochofenwerken beim Betriebe auf Graueisen mit Holzkohlen erblasenen Schlacken ziemlich erheblichen Abweichungen unterliegt. Meistens bewegt sie sich innerhalb folgender Grenzen:

Kieselsäure	45 bis 65 v. H.	
Tonerde	10 „ 5 „ „	
Basen	45 „ 30 „ „	

Die nachfolgenden Beispiele geben die Zusammensetzung solcher Schlacken, welche teils in früherer, teils in späterer Zeit, stets aber bei dem Betriebe mit heifsem Winde[1]) erfolgt sind.

Schlacken bei Darstellung grauen Roheisens mit Holzkohlen.

Name des Hochofenwerkes	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	MnO	FeO	K_2O, Na_2O	CaS	Silicierungsgrad	Bemerkungen
Jenbach in Tirol	66,90	14,08	4,48	12,24	0,85	0,88	n. best.	0,88	2,4	Aus tonerdereichen Spaten. Berg- und hüttenm. Ztg. 1873, S. 93.
Groeditz (Sachsen)	63,98	3,33	0,38	22,55	5,58	1,82	3,33	0,03	2,3	Schön blaue Schlacke aus Raseneisenerzen mit Kalksteinzuschlag. Von mir untersucht.
Ebendaher	64,30	4,78	4,10	19,89	3,16	1,59	n. best.	n. best.	2,3	Fast weifse Schlacke. Übrigens wie vorstehend.
Pfeilhammer (Sachsen)	56,10	5,20	7,21	21,78	6,30	2,70	„	„	2,2	Lichtblau, kristallin. In meinem Laboratorium untersucht.
Ilsenburg am Harz	56,89	6,88	2,64	28,46	2,01	1,72	1,30	„	2,3	Kerl, Grundrifs der Eisenhüttenkunde, S. 167.
Rübeland am Harz	53,79	13,04	0,57	25,67	2,20	2,44	n. best.	„	2,0	Kerl, Grundrifs der Eisenhüttenkunde, S. 167.
Koláhpatak (Ungarn)	53,40	7,65	13,40	17,00	5,17	1,07	„	0,95	1,5	Kerpely, Ungarns Eisensteine und Eisenhüttenerzeugnisse, S. 84.
Zorge am Harz	49,30	12,17	2,28	31,33	0,95	0,79	2,61	0,43	1,8	Graublaue Schlacke. Von mir untersucht. Vergleiche auch S. 211.

[1]) In eisernen Winderhitzern erhitzt und demnach nicht wärmer als 400° C. Bei den meisten der genannten Hochöfen stieg die Windtemperatur nicht über 300° C.

Name des Hochofenwerkes	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	MnO	FeO	K_2O. Na_2O	CaS	Silicierungsgrad	Bemerkungen
Edsken (Schweden)	46,37	4,30	7,40	38,14	1,86	0,95	0,43	0,07	1,7	Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, 1. Aufl., Abt. 3, S. 746.
Dernö in Ungarn	45,57	7,85	6,18	33,20	2,81	0,90	n. best.	2,10	1,5	Kerpely, a. a. O.
Krompach (Ungarn)	44,90	7,00	14,12	25,05	4,09	0,92	2,52	0,41	1,3	Aus magnesiareichen Spaten mit Kalksteinzuschlag erzeugt. Von mir untersucht.
Neuberg in Steiermark	40,95	8,70	16,32	30,35	2,18	0,60	0,32	—	1,1	Kerl, Grundrifs der Eisenhüttenkunde, S. 170.

Die Zusammenstellung liefert die Bestätigung dafür, dafs es unter sehr abweichenden Verhältnissen, d. h. bei sehr verschiedener Zusammensetzung der erfolgenden Schlacke, möglich sein kann, Graueisen mit Holzkohlen darzustellen. Einige Schlacken dagegen, in weit voneinander entlegenen Gegenden und zu verschiedenen Zeiten erblasen, zeigen wieder eine auffallende Übereinstimmung (z. B. die Schlacken von Pfeilhammer und Ilsenburg, ferner von Krompach und Neuberg u. a.), und gewöhnlich läfst sich in solchen Fällen auch die Übereinstimmung in der Beschaffenheit der verwendeten Erze nachweisen.

Bei dem Betriebe mit Koks sind in Rücksicht auf deren Schwefelgehalt kieselsäurereichere Schlacken als Singulosilikate nicht wohl brauchbar. Ein mäfsiger Tonerdegehalt ist für die Siliciumreduktion förderlich; tonerdereichere Singulosilikate können aber, wie die Schaulinien auf S. 213 I zeigen, ziemlich leicht schmelzbar sein, wodurch in der hohen Temperatur der Kokshochöfen die Verschlackung von Eisen befördert, also die Entstehung von Graueisen erschwert wird. Man pflegt also noch reichlichere Mengen Kalkstein zuzuschlagen, als zur Bildung eines Singulosilikats erforderlich sein würde, und Schlacken zu bilden, deren Kieselsäuregehalt ungefähr einem 0,8 Silikate entspricht, bei sehr hohem Tonerdegehalte sogar noch unter dieses Mafs hinuntergeht [1]). In dem Bestreben, durch reichlichen Kalkzuschlag auch zu tonerdeärmeren Erzen die Schmelztemperatur der Schlacken zu erhöhen, hat man bisweilen jene auf S. 219 I erwähnten kalkreichen Schlacken gebildet, welche alsbald nach dem Erstarren zu Pulver zerfallen. Die Reduktion des Siliciums wird unleugbar durch die stark basische Beschaffenheit dieser Schlacken erschwert, und wenn ein teilweiser Ausgleich durch die hohe Temperatur im

[1]) Die Tonerde der Schlacken ist bei Berechnung des Silicierungsgrades stets als Base gerechnet.

Schmelzraume geschaffen wird, so erheischt ein derartiger Betrieb immerhin einen hohen Brennstoffverbrauch. Man sucht deshalb in der Jetztzeit die Bildung solcher übermäfsig basischen Schlacken nach Möglichkeit zu vermeiden.

Diese kalkreichen Schlacken im Vereine mit der hohen Temperatur ermöglichen nun eine weitgehende, fast vollständige Verschlackung des Schwefelgehaltes der Beschickung, und schon früher wurde der im ersten Augenblicke überraschenden Tatsache Erwähnung getan, dafs aus diesem Grunde das mit Koks erblasene graue Roheisen schwefelärmer zu sein pflege als das in Holzkohlenhochöfen erfolgte.

In den meisten Fällen ist die Zusammensetzung der beim Kokshochofenbetriebe auf graues Roheisen entstehenden Schlacken ungefähr folgende:

Kieselsäure	30 bis 35 v. H.
Tonerde	15 „ 10 „ „
Basen	50 „ 55 „ „

Kieselsäurereichere Schlacken kommen ausnahmsweise vor (wie aus der nachfolgenden Zusammenstellung erkennbar ist), wenn ein besonders schwefelarmer Brennstoff zur Verfügung steht; sind dagegen die Erze übermäfsig reich an Tonerde, so kann der Kieselsäuregehalt bis auf 25 v. H. sinken (manche englische und schottische Schlacken). Der Kieselsäure- und Tonerdegehalt zusammen erreichen in diesen Fällen ungefähr das gleiche Mafs wie in den weniger tonerdereichen Schlacken von der soeben angegebenen Zusammensetzung. Die Theorie von der Vertretung der Kieselsäure durch Tonerde in den Schlacken (S. 208 I) erhält hierdurch eine gewisse Bestätigung.

Schlacken bei Darstellung grauen Roheisens mit Koks (Anthracit, Steinkohlen).

Name des Hochofenwerkes	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	MnO	FeO	K_2O, Na_2O	CaS	Silicierungsgrad	Bemerkungen
Mühlheim a. d. Ruhr (1895) . .	31,72	13,07	2,03	46,47	n. best.	1,09	n. best.	4,14	0,88	Beim Betriebe auf Hämatitroheisen. „Stahl und Eisen“ 1895 S. 153.
Ebenda	30,88	16,95	1,58	43,01	„	0,96	„	4,66	0,78	Beim Betriebe auf Giefsereiroheisen.
Hörde (1882) . .	29,45	12,88	8,10	39,78	1,95	0,54	„	8,20	0,74	Bessemerroheisen Nr. I. In Hörde untersucht.
Ebenda	29,40	11,70	11,54	36,11	0,20	0,80	„	9,08	0,76	Giefsereiroheisen Nr. I. In Hörde untersucht.

Name des Hochofenwerkes	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	MnO	FeO	K_2O, Na_2O	CaS	Silicierungsgrad	Bemerkungen
Königin - Marienhütte bei Zwickau (1881)	30,20	9,22	12,31	39,98	1,13	0,82	2,85	4,79	0,74	Bessemerroheisen Nr. I. Von mir untersucht.
Schwechat bei Wien	33,25	12,17	12,94	31,26	4,91	0,95	1,56	1,98	0,82	Enthält 0,11 Calciumphosphat. Österreich. Jahrbuch Bd. 22, S. 393.
Gutehoffnungshütte (1904) . .	33,00	14,00	4,5	41,1	2,00	0,50	0,5	3,8	0,84	Beim Betriebe auf Hämatitroheisen. „Stahl und Eisen" 1904, S. 442.
Georgs - Marienhütte bei Osnabrück (1895) .	29,20	7,14	18,30	39,40	n. best.	1,60	n. best.	4,50	0,70	Beim Betriebe auf Giefsereiroheisen. „Stahl und Eisen" 1895, S. 153.
Zeltweg in Steiermark	33,35	13,21	7,32	37,71	1,43	0,21	0,58	5,51	0,87	Österreich. Jahrbuch Bd. 24, S. 336.
Ursprung nicht angegeben. Vermutlich aus Minetteerzen erfolgt	37,10	16,70	1,90	38,50	0,70	0,40	n. best.	4,10	1,00	Nach Platz, „Stahl und Eisen" 1892, S. 3. Lange glasige Schlacke.
Wie vorstehend .	35,40	9,20	2,30	47,20	0,40	0,40	"	4,60	1,00	Wie vorst. Kurze Schlacke.
Luxemburg . .	37,38	10,94	1,99	46,14	0,72	1,00	"	n. best.	1,0	Bei Verhüttung von Minette.
Englische tonerdereiche Schlacken	24,92	23,64	13,41	37,31	n. best.	n. best.	"	"	0,50	Sehr steife Schlacke Iron. Bd. 16, S. 293.
Desgl.	26,46	19,54	13,24	35,50	"	"	"	"	0,58	Besser als die vorige. Iron, Bd 16, S. 293.
"	27,65	24,69	3,55	36,56	0,35	0,72	1,45	4,39	0,60	Kerl, Grundrifs der Eisenhüttenkunde, S. 168.
Mathildenhütte bei Harzburg .	23,59	19,44	4,20	49,51	0,30	0,27	0,87	1,38	0,50	Aus Bohnerzen erblasen; enthält 0,13 v. H. P_2O_5. Vom Verf. unters.
Anniston (Alabama)	40,51	19,56	1,09	30,80	—	1,20	n. best.	2,61	1,1	Kupelwieser. Das Hüttenwesen auf der Weltausstellung zu Philadelphia, S. 69 und 78.
Cedar Point Hochofen zu Port Henry am Lake Champlain; Anthracitbetrieb . . .	47,94	12,01	4,36	31,20	0,19	1,55	"	1,75	1,5	

Weifsstrahliges und gewöhnliches Weifseisen. Bei Darstellung gewöhnlichen Weifseisens kommt es zunächst darauf an, die Reduktion gröfserer Mengen Silicium, welche Graphitausscheidung hervorrufen würden, zu hindern. Das einfachste Mittel hierfür ist niedrige Temperatur im Schmelzraume, also reichlicheres Verhältnis des Erzsatzes zum Brennstoffe als bei Darstellung von Graueisen oder Spiegeleisen. Damit aber in dieser

niedrigeren Temperatur nicht Versetzungen des Ofens eintreten können, mufs auch die Bildungs- und Schmelztemperatur der Schlacke tiefer liegen als bei Darstellung jener Roheisensorten. Man erreicht dieses Ziel durch Gattieren der Erze und Zuschläge in solchen Verhältnissen, dafs beim Betriebe mit Koks eine Singulosilikatschlacke, beim Betriebe mit Holzkohlen ein dem $1{,}5$-Silikat nahestehende Schlacke mit nur mäfsigem Tonerdegehalte erfolgt. Führt man die gleiche Windmenge zu und verbrennt demnach in derselben Zeit ebenso viel Brennstoff als bei Graueisendarstellung, so schmelzt man mehr Erz und erzeugt entsprechend mehr Roheisen, und eine solche Beschleunigung des Schmelzganges ist um so zulässiger, je geringeren Wert man auf einen hohen Kohlenstoff- und Mangangehalt des erfolgenden Roheisens legt.

Dieser raschere Schmelzgang des Hochofens befördert nun freilich, zumal bei Verhüttung von schwieriger reduzierbaren Erzen, die Entstehung einer eisenreicheren Schlacke, deren Eisengehalt als gleichbedeutend mit einem Eisenverluste zu betrachten ist. Steigt der Eisengehalt der Schlacke übermäfsig — bei wirklichem Rohgange —, so entsteht das auf S. 20 besprochene geringwertige, grelle Roheisen oder Treibeisen, und der Betrieb wird wegen der Abkühlung des Ofens mifslich.

Für die Darstellung des strahligen und hochstrahligen Roheisens, welches durch einen höheren Kohlenstoff- und Mangangehalt sich auszeichnet, ist die Anwendung manganhaltiger Erze, ein etwas weniger hoher Erzsatz und weniger stark beschleunigter Schmelzgang als bei Erzeugung des gewöhnlichen Weifseisens notwendig. Die Temperatur im Ofen ist höher; aber von dem Mangangehalte der Beschickung darf nur ein Teil (etwa zwei Drittel) reduziert werden, da sonst Silicium reduziert werden und graues Roheisen statt weifsen erfolgen würde, sobald der Mangangehalt der Schlacke nicht mehr ausreicht, das Silicium vor Reduktion zu schützen. Der Fall kommt bisweilen vor; dagegen entsteht gewöhnliches Weifseisen statt des Weifsstrahls, wenn die Temperatur zu niedrig, der Schmelzgang zu beschleunigt ist, um die Reduktion des erforderlichen Mangangehaltes zu ermöglichen. Verhüttet man aber entsprechend manganreiche Beschickungen mit einem verhältnismäfsig reichlichen Brennstoffaufwande, so entstehen Übergangsstufen zum Spiegeleisen (Halbspiegeleisen).

Die Temperatur des Gebläsewindes richtet sich nach der Beschaffenheit des Brennstoffs und der Zusammensetzung der Beschickung. Beim Holzkohlenbetriebe steigert man aus den früher besprochenen Gründen die Temperatur überhaupt kaum über 400°. Verhüttet man mit Koks mangan- und phosphorärmere Beschickungen auf Weifseisen (Puddelroheisen), so trägt man Bedenken, allzu heifsen Wind anzuwenden, um nicht siliciumhaltiges Graueisen zu erzeugen, geht aber doch, wenn steinerne Winderhitzer vorhanden sind, mitunter auf 600° C. und noch etwas darüber. Sind die Erze aber manganhaltig und phosphorreich, so wird dadurch die Gefahr für die Reduktion gröfserer Mengen Silicium verringert, weil jene Körper vor dem Silicium reduziert

werden, und man bläst, wenn die Vorrichtungen dafür vorhanden sind, mit 700 bis 750° warmem Winde.

Von dem Phosphorsäuregehalte der Erze geht um so mehr in die Schlacke, je eisenreicher diese ist, und bei Verhüttung phosphorreicher Erze auf Thomasroheisen können 0,8 v. H. Phosphorsäure in der Schlacke zurückbleiben, wenn diese 3 bis 4 v. H. Eisenoxydul enthält[1]).

Wie die nachstehenden Beispiele erkennen lassen, ist die Zusammensetzung der Schlacken im allgemeinen bei dem Betriebe auf diese Roheisenarten etwa:

beim Holzkohlenbetriebe

Kieselsäure	45 bis 50 v. H.
Tonerde	10 „ 5 „ „
Basen	45 „ 45 „ „

beim Koksbetriebe

Kieselsäure	30 bis 40 v. H.
Tonerde	10 „ 5 „ „
Basen	60 „ 55 „ „

Schlacken bei Darstellung von Weifsstrahl und gewöhnlichem Weifseisen.

Name des Hochofenwerkes	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	MnO	FeO	K_2O, Na_2O	CaS	Silicierungsgrad	Bemerkungen
Holzkohlenhochöfen:										
Neuberg (Steierm.)	43,70	10,40	13,17	23,54	5,10	0,13	2,22	1,24	1,3	Beim Betriebe mit Holzkohlen auf Weifsstrahl. Österr. Jahrb. Bd. 20, S. 68.
Judenburg (Steiermark)	47,28	6,36	8,72	21,77	11,30	1,12	1.54	1,17	1,5	Österr. Jahrb. Bd. 23, S. 362.
Reschitza (Ungarn)	45,56	8,69	9,15	25,79	8,83	0,79	Sp.	1,40	1,4	Beim Betriebe auf feinstrahl. Weifseisen. Kerpely, Ungarns Eisensteine, S. 84.
Bogschán (Ungarn)	48,80	8,88	4,11	26,50	9,02	2,26	0,05	0,20	1,6	Wie vorstehend.
Kokshochöfen:										
Gutehoffnungshütte in Oberhausen (1879).	39,45	10,70	2,34	36,42	1,95	6,04	1,79	1,05	1,1	Beim Betriebe auf gewöhnliches Weifseisen. Schwarze, in vierseitigen Tafeln kristallisierte Schlacke. Von mir untersucht.

[1]) „Stahl und Eisen“ 1895 (Schilling).

Name des Hochofenwerkes	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	MnO	FeO	K_2O, Na_2O	CaS	Silicierungsgrad	Bemerkungen
Ebenda (1904) . .	33,00	14,00	4,50	41,20	4,50	0,50	0,30	2,90	0,8	Beim Betriebe auf Thomasroheisen mit 1,5 v. H. Mangan, 2,2 v. H. Phosphor. Die Schlacke enthielt 0,70 v. H. P_2O_5. „Stahl und Eisen" 1904, S. 442.
Niederrhein.-westfälische Hochöfen (1895).	34,0	7,0	6,0	41,0	4,0	1,0	n. best.	3,0	1,0	Beim Betriebe auf phosphorarmes Puddelroheisen. Nach Weinlig; „Stahl und Eisen" 1895, S. 142.
Georgs-Marienhütte	40,65	4,44	8,87	32,90	5,16	2,98	„	2,34	1,2	Beim Betriebe auf weifsstrahliges Roheisen. Von mir untersucht.
Gleiwitz	38,49	6,99	6,83	38,60	5,26	0,63	„	2,40	1,1	Beim Betriebe auf spiegeliges Roheisen (Analyse desselben auf S. 27). Zeitschr. für Berg-, Hütten- u. Salinenwesen, Bd. 22, S. 286.
Eisenwerk Union, Dortmund (1883)	34,82	8,52	5,52	40,52	5,47	0,26	„	5,01	1,0	Beim Betriebe auf Thomasroheisen. Enthält 0,16 v. H. P_2O_5. Persönl. Mitteilung.
Hörde (1882) . . .	32,45	12,38	9,00	35,05	6,31	0,58	„	4,25	0,8	Beim Betriebe auf Thomasroheisen. In Hörde untersucht (enthält 0,02 v. H. P_2O_5).
Eisenwerk Vulkan, Duisburg (1883).	31,92	9,83	2,08	46,73	3,78	0,71	„	4,36	0,9	Beim Betriebe auf Thomasroheisen. Enthält 0,32 v. H. P_2O_5. Persönl. Mitteilung.
Ilsede (1879) . . .	29,85	10,60	3,69	37,49	13,58	0,59	„	2,97	0,8	Beim Betriebe auf weifsstrahliges Roheisen mit etwa 3 v. H. P. Enthält 0,16 v. H. P_2O_5. Von mir unters.
Friedenshütte (1895)	37,78	8,19	12,28	36,31	1,21	0,19	„	3,06	0,9	Beim Betriebe auf Thomasroheisen. Von mir untersucht.
Esch in Luxemburg	36,78	19,50	2,23	36,24	0,74	2,72	„	1,08	1,0	Beim Betriebe auf Puddelroheisen. Nach Blum: „Stahl und Eisen" 1901, S. 1025.
Wie vorstehend .	32,05	17,19	2,08	44,87	0,46	1,20	„	2,16	0,77	Beim Betriebe auf manganarmes Thomasroheisen. Übrigens wie vorstehend.

Spiegeleisen. Ein mangan- und kohlenstoffreiches, siliciumarmes Roheisen soll erzeugt werden. Die Reduktion des Mangans erfolgt nur durch festen Kohlenstoff; sie kann nicht früher oder doch in erheblichem Mafse nicht früher stattfinden, bevor nicht das Eisen reduziert worden ist. Aus diesem Grunde ist die Anwendung leicht reduzierbarer Erze von Vorteil; geröstete manganhaltige Spateisensteine dienen in erster Reihe für die Spiegeleisendarstellung,

und man versetzt sie mit manganhaltigen Brauneisenerzen, Roteisenerzen u. a. Die Leichtreduzierbarkeit der Erze befördert zugleich die Aufnahme von Kohlenstoff; denn je früher die Reduktion des Eisens stattfindet, desto mehr Gelegenheit findet das reduzierbare Metall, noch Kohlenstoff aufzunehmen.

Dafs die zur Darstellung des Spiegeleisens benutzten Erze arm an Phosphor sein müssen, wenn der Wert des Spiegeleisens den Erzeugungskosten entsprechen soll, wurde bereits erläutert.

Für hochmanganhaltiges Spiegeleisen reicht der Mangangehalt der Spate selten aus, und man ist genötigt, den Eisenerzen Manganerze zuzusetzen.

Die Reduktion des Mangans wird durch hohe Temperatur im Schmelzraume und basische Beschaffenheit der Schlacke befördert. Die Erzielung der erforderlichen hohen Temperatur wird, wie bei der Darstellung von Graueisen, durch Anwendung hocherhitzten Windes und von Koks statt Holzkohlen erleichtert; die Reduktion des Mangans aber bedingt einen hohen Wärmeverbrauch, welcher durch einen entsprechenden Aufwand an Brennstoff gedeckt werden mufs. Mit dem Mangangehalte des Roheisens wächst dieser Brennstoffverbrauch. Die Schlacke pflegt einem Singulosilikate nahezustehen oder noch basischer als dieses zu sein. Mitunter freilich findet man auch Schlacken mit höherem Kieselsäuregehalte, aber neben diesem auch dann regelmäfsig einen höheren Mangangehalt. Vorwiegend entstammen solche kieselsäurereicheren Schlacken dem Betriebe mit Holzkohlen und weniger stark erhitztem Winde, wobei die zum Schmelzen kalkreicherer und manganärmerer basischer Schlacken erforderliche hohe Temperatur nicht erreicht werden konnte.

Die Bedingungen für Bildung des Spiegeleisens sind somit denen für Bildung von tiefgrauem Roheisen im Kokshochofen ähnlich; *notwendig für Spiegeleisenerzeugung ist aber immerhin — auch bei Bildung kalkreicher basischer Schlacken — die Gegenwart eines gewissen Mangangehaltes in der Schlacke.* Ohne diese erfolgt halbiertes oder graues Roheisen. Die Regel ist, dafs bei Anwendung von Koks und hocherhitztem Winde 20 bis 30 v. H. des Mangangehaltes der Beschickung in der Schlacke zurückbleiben müssen. Durch Verlangsamung des Schmelzganges und Erhöhung des Brennstoffsatzes zum Erze würde man zwar imstande sein, den Mangangehalt der Beschickung vollständiger zu reduzieren, daneben aber würde auch Silicium in reicherem Mafse reduziert werden, und das erfolgende Roheisen würde Graphitbildung zeigen. Die Wirkung dieses Mangangehaltes der Schlacke ist unschwer zu erkennen. Da die Schlacke basisch ist, wird die Reduktion des Siliciums erschwert oder unmöglich gemacht, solange in der Schlacke noch reichlichere Mengen einer durch Kohlenstoff reduzierbaren Base — des Manganoxyduls — zugegen sind; der Manganoxydulgehalt der Schlacke bildet, wie auch bei Darstellung weifsstrahligen Roheisens, einen Schutz gegen die Reduktion des Siliciums. Je mehr der Gehalt an Manganoxydul abnimmt, und je mehr dadurch die Schlacke zugleich an basischer Beschaffenheit einbüfst, desto ungehinderter können die reduzierenden Einflüsse des Hochofens auch auf den Kieselsäuregehalt der Schlacke sich ausdehnen.

Ein hoher Tonerdegehalt der Schlacke erschwert die Spiegeleisenbildung. Der Umstand, dafs die Tonerde als sehr schwache Base, sofern sie an Stelle stärkerer Basen zugegen ist, die Reduktion des Siliciums und somit die Entstehung von Graueisen begünstigt und die Reduktion des Mangans nicht in dem Mafse wie stärkere Basen erleichtert, erklärt leicht jene Tatsache.

Bei dem Betriebe mit Koks ist die Zusammensetzung der Schlacke im Mittel ungefähr folgende:

Kieselsäure . . . 30 v. H.,
Tonerde . . . . 10 v. H.
Manganoxydul . . 5 bis 15 v. H. (mit dem Mangangehalte des erfolgenden Roheisens wachsend),
Kalkerde, Magnesia 55 bis 45 v. H.

Beim Betriebe mit Holzkohlen sind die Schlacken häufig, um ausreichend leicht schmelzbar zu sein, saurer (1,4-Silikat) und deshalb auch manganreicher. Der Manganverlust ist gröfser, der Mangangehalt des erfolgenden Roheisens geringer als bei Verhüttung der nämlichen Erze mit Koks.

Schlacken bei Darstellung von Spiegeleisen.

Name des Hochofenwerkes	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	MnO	FeO	K_2O, Na_2O	CaS	Silicierungsgrad	Bemerkungen
Hörde (1883) . .	29,00	8,11	7,14	43,05	7,04	0,42	n best.	3,74	0,8	Beim Betriebe auf Spiegeleisen mit 10—12 v. H. Mn. In Hörde unters. Persönl. Mitteil.
Creuztal (1883) .	30,70	11,60	8,51	35,73	8,78	0,48	„	4,15	0,8	Beim Betriebe auf Spiegeleisen mit 11,5 v. H. Mangan. In Creuztal unters. Persönl. Mitteilung.
Georgs-Marienhütte (1883). .	30,65	9,18	7,58	40,25	2,97	1,54	„	Ca S 2,22 Ba S 5,24	0,8	Beim Betriebe auf Spiegeleisen mit 4,75 v. S. Mangan. In Georgs-Marienhütte untersucht.
Maximilianhütte (1896)	32,70	8,01	7,69	32,15	8,07	0,41	„	Ca S 2,68 Ba S 6,93	1,1	Beim Betriebe auf Spiegeleisen mit 9 v. H. Mangan. Von mir untersucht.
Siegerländer Schlacken . .	29,0	8,5	3,0	39,0	15,0	0,5	„	3,5	0,85	Beim Betriebe auf Spiegeleisen mit 10 bis 12 v. H. Mn. „Stahl und Eisen" 1895. S. 143.
Reschitza (Betrieb mit Holzkohlen, 1877) .	41,22	6,45	1,48	9,55	39,49	1,08	0,6	0,21	1,4	Bei Darstellung v. Spiegeleisen mit 7 v. H. Mangan gefallen. (Kerpely, Ungarns Eisensteine S. 84) Kalkarme, saure Schlacke, daher sehr hoher Manganverlust.

Erwähnung verdient der Umstand, dafs in der hohen Temperatur, welche die Darstellung hochmanganhaltigen Spiegeleisens erheischt, ein Teil des Mangans vor den Formen verflüchtigt und mit den Gichtgasen entführt werden kann, nachdem es in dem an Kohlendioxyd und Wasserdampf reicheren Gasstrome des oberen Teiles des Hochofens wieder zu braunem Manganoxyduloxyd verbrannt worden ist. Whiting fand, dafs bei Darstellung von Spiegeleisen mit 30 v. H. Mangan — also einer Übergangsstufe zwischen eigentlichem Spiegeleisen und Eisenmangan — 1,7 v. H. des Mangangehaltes der Erze verflüchtigt wurden [1]).

Eisenmangan. Gröfsere Mengen Mangan als für Darstellung des Spiegeleisens sollen reduziert werden. Alle für die Manganreduktion förderlichen Mittel müssen also in erhöhtem Mafse angewendet werden: hohe Temperatur, stark basische Schlacke, verzögerter Schmelzgang, reiches Verhältnis des Brennstoffs zum Erz. Je höher der Mangangehalt werden soll, desto mehr wirkliche Manganerze müssen der Beschickung zugeschlagen werden, und bei Darstellung der reichsten Eisenmangane besteht sie nur aus Manganerzen mit den entsprechenden schlackenbildenden Zuschlägen.

Da die Erzeugungstemperatur der Eisenmangane höher liegt als die Verdampfungstemperatur des Mangans, wird ein Teil des letzteren verflüchtigt. In dem oberen Teile des Hochofens verbrennt es, wie bei Spiegeleisendarstellung, unter der Einwirkung von Kohlendioxyd, Wasserdampf oder dem Sauerstoff der Erze, wird in feiner Verteilung von den Gasen mit emporgeführt und entweicht als brauner Rauch aus dem Hochofen. Die Menge des verflüchtigten Mangans wächst mit dem Mangangehalte der erfolgenden Legierung und der Temperatur im Ofen. Nach Schilling [2]) können bei Darstellung von Eisenmanganen mit 60 bis 70 v. H. Mangan durch Verflüchtigung bis zu 17 v. H. des ursprünglichen Mangangehaltes, bei manganreicheren Eisenmanganen noch mehr verloren gehen; nach Whiting dagegen betrug der Verlust bei Darstellung von Eisenmangan mit 83 v. H. Mangan nur 5,4 v. H.

Wegen des Umstandes, dafs dem aufsteigenden Gasstrome durch den geringeren Erzsatz weniger Wärme als bei gewöhnlichem Betriebe entzogen wird, tritt eine starke Erhitzung des ganzen Ofens ein; verhüttet man aber Manganerze (Braunsteine), deren Sauerstoffgehalt gröfser ist als der des Oxyds oder Oxyduloxyds, so werden sie schon im oberen Teile des Hochofens durch den heifsen kohlenoxydreichen Gasstrom zu Oxyduloxyd oder auch zu Oxydul reduziert, und dieser Vorgang ist von einer Wärmeerzeugung begleitet. Bei Reduktion des Superoxyds MnO_2 durch Kohlenoxyd ist ein Wärmeverbrauch von 1790 W.-E. für 1 kg Sauerstoff, welcher den Erzen entzogen wird, erforderlich [3]). Diesem Wärmeverbrauche steht eine Wärmeerzeugung durch Verbrennung

---

[1]) Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Bd. 20, S. 290.

[2]) „Stahl und Eisen" 1882, S. 223.

[3]) Die Ziffer ergibt sich aus den auf S. 58 I gegebenen Mitteilungen. Die Wärmeentwicklung bei der Verbrennung von Manganoxydul zu Mangansuperoxyd beträgt 2250 — 1730 = 520 W.-E. für 1 kg Mangan; also für 1 kg Sauerstoff $^{55}/_{16} \times 520 = 1790$ W.-E.

des als Reduktion dienenden Kohlenoxyds gegenüber. Der chemische Vorgang verläuft nach der Formel $MnO_2 + CO = MnO + CO_2$, und 1 kg Sauerstoff entwickelt hierbei 4200 W.-E [1]); der reine Wärmegewinn beträgt mithin 4200 — 1790 = 2410 W.-E. Da die Reduktion der sauerstoffreicheren Manganerze zu niedrigeren Oxydationsstufen im Kohlenoxydstrome schon bei einer Temperatur von 300° C. vor sich gehen kann [2]), die Gase aber heifs in dem Ofen aufsteigen, findet jene Wärmeentwicklung vorwiegend in dem oberen Teile des Ofens statt, und die Folge davon ist eine fernere Temperatursteigerung [3]). Diese hohe Temperatur erschwert den Betrieb der Manganhochöfen. Sie verringert die Haltbarkeit der Schachtsteine, sofern diese nicht durch besondere Kühlungen geschützt sind; im Vereine mit dem erwähnten starken Gichtrauche macht sie das Abfangen und die Benutzung der Gichtgase schwieriger, da die Gichtgasfänge in der hohen Temperatur leichter zerstört werden und der Staubgehalt der Gase die Leitungen verstopft. Früher liefs man deshalb die Gase unbenutzt aus der Gicht entweichen, wo sie mit langer, heifser Flamme verbrannten; jetzt fängt man sie zwar wie andere Gichtgase auf, aber ihre Verwendung bereitet immerhin einige Schwierigkeiten. Um die Gasfänge vor rascher Zerstörung zu schützen, kühlt man sie wohl durch darüber rieselndes Wasser.

Je höher der Mangangehalt in der darzustellenden Legierung ausfallen soll, desto gröfser wird der Manganverlust durch Verflüchtigung und Verschlackung, desto höher der erforderliche Brennstoffverbrauch. Es ist daher leicht erklärlich, dafs der Selbstkostenpreis der gleichen Menge metallischen Mangans sich höher beziffert, wenn es in einer manganreicheren, als wenn es in einer manganärmeren Legierung enthalten ist.

Verzögert man den Betrieb in der Weise, dafs die Schlacke manganarm wird, oder bildet man weniger stark basische Schlacken, so wird neben dem Mangan eine gröfsere Menge Silicium reduziert, und so entstehen die auf S. 26 erwähnten Siliciumeisenmangane (Siliciumspiegel).

---

[1]) Nach den Mitteilungen auf S. 56 I beträgt die Wärmeentwicklung bei Verbrennung von 1 kg Kohlenoxyd mit $^4/_7$ kg Sauerstoff 2400 W.-E.; mithin erzeugt 1 kg Sauerstoff $^7/_4 \times 2400 = 4200$ W.-E.

[2]) Die Reduktion durch Wasserstoff beginnt nach Bublitz sogar schon bei 138 bis 140° C. (Dissertation: Untersuchung über die Einwirkung des Wasserstoffs auf die Sauerstoffverbindungen des Mangans. Berlin 1903).

[3]) Bei dem Eisenwerk Hörde wurden im Jahre 1881 einige Ermittelungen über diese durch Anwendung sauerstoffreicher Manganerze hervorgerufene Temperatursteigerung angestellt. Die Oxydationsstufe der rohen Erze entsprach annähernd dem Verhältnisse Mn_5O_8. Die Temperatur der Gichtgase war bei drei Messungen zu verschiedenen Zeiten an zwei aufeinander folgenden Tagen 650°, 600° und 725°, durchschnittlich also 660° C. Bei Verhüttung der nämlichen Erze, welche jedoch durch vorausgehende Behandlung mit heifsen Koksofengasen in Mn_3O_4 umgewandelt worden waren, während alle übrigen Betriebsverhältnisse unverändert blieben, betrug dagegen die Temperatur der Gichtgase 525°, 600°, 475° und 525°, durchschnittlich also 530° C. Die Temperaturerniedrigung bei Verhüttung der sauerstoffärmeren Erze war mithin 130° C.

(Persönliche Mitteilung.)

Schlacken bei Darstellung von Eisenmanganen.

Name des Hochofenwerkes	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO	MnO	FeO	K_2O, Na_2O	CaS	Silicierungsgrad	Bemerkungen.
Reschitza (verm. mit Holzkohlen erzeugt) . . .	36,60	9,49	5,14	19,98	27,69	0,74	Sp.	0,23	1	Beim Betriebe auf Eisenmangan mit 34 v. H. Mangan (Kerpely, Ung. Eisensteine, S. 84)
Niederrheinisches Eisenwerk . .	30,04	14,84	1,37	31,24	17,00	0,33	n. best.	4,48	0,80	Beim Betriebe auf Eisenmangan mit 60 v. H. Mangan. Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Bd. 2, S. 312.
Hörde	26,50	8,10	8,30	42,40	10,76	n. best.	"	4,87	0,65	Beim Betriebe auf Eisenmangan mit 50 v. H. Mangan. Zeitschrift des berg- und hüttenmännischen Vereins für Steiermark u. Kärnten 1880, S. 248.
Phönix bei Ruhrort (1878) . .	26,65	15,15	0,86	41,29	14,94	0,79	"	n. best.	0,60	Bei Darstellung v. Eisenmangan mit 57 v. H. Mangan. Im Laboratorium des gen. Eisenwerkes unters.
Ebenda (1880) . .	23,50	15,30	2,72	48,94	7,63	0,71	"	"	0,50	Bei Darstellung v. Eisenmangan mit 66 v. H. Mangan. Im Laboratorium des Eisenwerkes untersucht.
Terre noire (1878)	27,75	15,25	4,00	37,77	7,56	Sp.	"	{Ba S 4,30; Ca S 2,23}	0,70	Bei Darstellung v. Eisenmangan mit 81 v. H. Mangan in einem mit Graphitziegeln zugest. Hochofen. „Stahl und Eisen“ 1885, S. 486.
Gutehoffnungshütte (1904) . .	27,00	11,00	3,50	30,70	22,00	0,30	0,50	{Ba S 3,45; Ca S 1,66}	0,70	Bei Darstellung v. Eisenmangan mit 80 v. H. Mangan („Stahl u. Eisen“ 1904, S. 442).

c) Die Berechnung der Beschickung.

Die erste zu erfüllende Bedingung, um im Hochofen mit Erfolg zu schmelzen, ist die Zusammenstellung der Erze und Zuschläge in solchen gegenseitigen Gewichtsverhältnissen, dafs die entstehende Schlacke ausreichend schmelzbar ist, und dafs ihre Menge im Verhältnisse zu der des erfolgenden Roheisens weder zu knapp noch zu reichlich ausfällt.

Die geeigneten Gewichtsverhältnisse ermittelte man früher stets auf dem Wege des Versuchs, indem man verschiedene Beschickungen zunächst im Tiegel probeweise schmolz, bis der gewünschte Erfolg

erreicht war. Rascher und sicherer aber gelangt man durch Berechnung zum Ziel.

Bevor die Rechnung ausgeführt werden kann, mufs man sich ein Urteil darüber bilden, welche Zusammensetzung der Schlacke am geeignetsten für die Darstellung dieser oder jener Roheisenart unter gegebenen Verhältnissen (Betrieb mit Holzkohlen oder Koks, Anwendung stärker oder weniger stark erhitzten Windes usw.) ist. Analysen von Hochofenschlacken, welche unter ähnlichen Betriebsverhältnissen gefallen waren, müssen als Richtschnur dabei dienen. Man trachtet danach, die Beschickung in solcher Weise zusammenzustellen, dafs eine der als Vorbild ins Auge gefafsten Schlacke möglichst ähnliche Schlacke erfolge. Beispiele der Zusammensetzung von Hochofenschlacken, welche bei Darstellung der verschiedenen Roheisenarten erfolgten, sind oben gegeben. Da es nun aber bei der ziemlich grofsen Zahl der in den Hochofenschlacken auftretenden Körper und den erheblichen Unterschieden in der Zusammensetzung der verhütteten Rohstoffe nicht immer möglich ist, aus vorhandenen Erzen und Zuschlägen eine Beschickung zu berechnen, welche eine Schlacke von genau der ins Auge gefafsten Zusammensetzung liefert, begnügt man sich, eine Schlacke zu bilden, welche wenigstens in den wesentlichsten, die Schmelzbarkeit bedingenden Umständen jene Übereinstimmung zeigt. Hierher gehört das Verhältnis der Kieselsäure und Tonerde zu den stärkeren Basen (Kalkerde und Magnesia); aufserdem auch, wenn irgend möglich, das gegenseitige Verhältnis der beiden genannten Basen. Es läfst sich im Betriebe häufig die Beobachtung machen und ist durch Åkermans Versuche (S. 212 I) erwiesen, dafs dieses gegenseitige Verhältnis von Kalkerde und Magnesia keineswegs gleichgültig für die Schmelzbarkeit der Schlacke ist; eine Schlacke mit zu hohem Magnesiagehalte ist sehr strengflüssig, während ein geringer Magnesiagehalt sie leichter schmelzbar macht als eine magnesiafreie Schlacke mit gleichem Verhältnisse der Basen zur Kieselsäure.

Bei der Berechnung ist jedoch, wie erwähnt, auch die Menge der erfolgenden Schlacke im Verhältnisse zu der Menge des erfolgenden Roheisens und das Ausbringen an Roheisen aus der Beschickung zu berücksichtigen. Je reichlicher die Schlackenmenge ist, desto mehr Wärme wird für ihre Schmelzung verbraucht, desto mehr Brennstoff mufs auf Erzeugung jener Wärme verwendet werden; je geringer die Schlackenmenge ist, desto rascher ändert sie ihre Zusammensetzung bei vorkommenden Unregelmäfsigkeiten im Ofengange, desto empfindlicher ist der Ofen gegen zufällige Störungen des Gleichgewichts im Wärmehaushalte, desto leichter tritt Rohgang ein. Ein Hochofenbetrieb ohne Schlacke ist überhaupt kaum denkbar. Immerhin kommt der Fall nur höchst selten vor, dafs man gezwungen ist, lediglich zur Vermehrung der Schlackenmenge entsprechende Zuschläge zu geben.

Bei Bilbaoer Eisenwerken, welche dortige Erze mit 51,5 v. H. Ausbringen aus der Möllerung verarbeiten, soll das Gewichtsverhältnis der erfolgenden Schlacke zum Roheisen nicht gröfser als 0,87 : 1 sein; bei steirischen und kärntnischen Eisenwerken, welche

aus leicht reduzierbaren Erzen mit Holzkohlen Weifseisen darstellen, ist das Verhältnis 0,6 : 1; bei deutschen und Luxemburger Kokshochöfen 0,8 : 1 bis 1 : 1; bei Cleveländer Hochöfen, welche mit Koks auf Giefsereiroheisen betrieben werden, 1,5 : 1; selten steigt es auf 2 : 1. Eine reichere Schlackenmenge als in dem letzteren Falle würde den Brennstoffverbrauch in einer Weise erhöhen, dafs der Betrieb nicht mehr wirtschaftlich vorteilhaft sein kann.

Zu dem Schlackengehalte der Beschickung steht das Ausbringen an Roheisen aus dem Möller in Beziehung. In den meisten Fällen schwankt es zwischen 30 bis 45 v. H. des Möllergewichts. Bei jenen erwähnten alpinen Hochöfen steigt es mitunter bis auf 50 v. H. und bei einigen nordamerikanischen Hochöfen noch darüber; bei einem niedrigeren Ausbringen als 25 v. H. dagegen kann man nur unter ganz besonderen Verhältnissen in der Lage sein, einen nutzenbringenden Betrieb zu führen.

Auch die Preise der verschiedenen zur Verhüttung bestimmten Erze und die Menge, in welcher sie bezogen werden können, müssen bei der Zusammenstellung der Beschickung berücksichtigt werden. Nicht immer läfst sich ein Erz in beliebiger Menge verwenden; sein Bezugspreis ist oft zu hoch, als dafs seine reichliche Verwendung wirtschaftlich zu rechtfertigen wäre, oder die verfügbare Menge ist beschränkt.

Endlich müssen auch der Phosphor- und Mangangehalt des erfolgenden Roheisens Beachtung finden. In einem Falle darf das Roheisen nur kleine Mengen Phosphor enthalten, um benutzbar zu sein (Bessemerroheisen); in einem zweiten Falle ist ein höherer Phosphorgehalt zulässig (Giefserei- und Puddelroheisen), in einem dritten Falle unentbehrlich (Thomasroheisen). Das gleiche gilt vom Mangan. Im Giefsereiroheisen ist ein höherer Mangangehalt als 1,5 v. H. nachteilig, im Puddel-, Bessemer- und Thomasroheisen ein Mangangehalt bis etwa 2 v. H. erwünscht, und der Wert des Spiegeleisens steigt mit seinem Mangangehalte. Der Phosphorgehalt der Erze geht annähernd vollständig, der Mangangehalt, je nachdem man mit saurer oder basischer Schlacke, in niedriger oder hoher Temperatur schmelzt, zur Hälfte bis zu vier Fünfteln in das Roheisen über.

Die Aufgabe, aus gegebenen Erzen und Zuschlägen eine Beschickung zu berechnen, aus welcher unter den besprochenen Bedingungen eine entsprechend zusammengesetzte Schlacke erfolgt, läfst in verschiedener Weise sich lösen.

Mrázeks stöchiometrisches Verfahren.

Einer der ersten, welche ein Verfahren ersannen, um in tunlichst kurzer Zeit auch aus einer gröfseren Zahl von Erzen und Zuschlägen eine zweckentsprechende Zusammenstellung zu bilden, war Mrázek[1]). Sein Verfahren ist etwas umständlich, und aus diesem Grunde wird es nicht gerade häufig angewendet. Dennoch

---

[1]) Vergleiche Literatur.

ist seine Benutzung ziemlich leicht, sofern erst die als Unterlage für alle Fälle dienenden Rechnungen ausgeführt worden sind, und nicht selten hat es als Vorbild für das eine oder andere etwas vereinfachte Verfahren gedient. Aus diesem Grunde möge es hier als erstes Beispiel jener Verfahren für Berechnung der Beschickung beschrieben werden.

Mrázek ging bei seiner Berechnung von der früher allgemein verbreiteten Anschauung aus, dafs in einer Schlacke die Bestandteile, insbesondere Kieselsäure und Basen, sich in wirklicher chemischer Verbindung (im engeren Sinne) befinden, die Basen sich in den Verhältnissen ihrer Molekülgewichte vertreten, und dafs demnach die Berechnung einer Schlacke nur nach stöchiometrischen Grundsätzen erfolgen dürfe. Wie bei Besprechung der Eigenschaften der Schlacken in der ersten Abteilung der Eisenhüttenkunde erwiesen worden ist, wird diese Theorie keineswegs immer durch das Verhalten der Schlacken gerechtfertigt; aber wenn man bei der Berechnung Sorge trägt, dafs das Verhältnis der verschiedenen Basen untereinander in der zu bildenden Schlacke annähernd das gleiche werde wie in der als Vorbild dienenden, so ist es für den Erfolg ziemlich gleichbedeutend, ob man das stöchiometrische oder das einfache Gewichtsverhältnis der Berechnung zugrunde legt.

Auf Grund der chemischen Zusammensetzung der Erze und Zuschläge sowie der Koksasche wird demnach bei Mrázeks Verfahren eine Tabelle aufgestellt, welche die auf folgender Seite veranschaulichte Einrichtung besitzt.

Die Spalten 1 bis 5 enthalten die durch die Analyse gefundenen Mengen der in einer Gewichtseinheit des Erzes, der Zuschläge und der Koksasche enthaltenen schlackengebenden Bestandteile. Ist zu erwarten, dafs ein Teil der Bestandteile des Erzes aufser dem Eisen reduziert werde — z. B. ein Teil des Mangan- oder Siliciumgehaltes —, so ist hierauf Rücksicht zu nehmen. Die Reduktion des Siliciums kann bei Weifseisendarstellung vernachlässigt werden; bei Graueisendarstellung kann man annehmen, dafs ein Kieselsäuregehalt, welcher $^1/_{25}$ des Eisengehaltes im Erze ausmacht (entsprechend etwa 2 v. H. Silicium im Roheisen), reduziert werde; bei einigermafsen beträchtlicher Schlackenmenge kann man jedoch auch hierbei die Reduktion des Siliciums vernachlässigen, da die ganze Berechnung wegen der mancherlei vorkommenden unberechenbaren Vorgänge im Hochofen (Verflüchtigung verschiedener Körper in Form von Chloriden, Cyaniden, Sulfiden, Zurückbleiben unreduzierten Eisens in den Schlacken usw.) immerhin nur Annäherungswerte zu liefern imstande ist, welche später durch den Versuch Ausgleichung finden müssen.

Spalte 6 enthält die Summe sämtlicher schlackenbildender Bestandteile, Spalte 7 den Eisengehalt (welchem bei Reduktion beträchtlicher Mengen Mangan diese hinzuzurechnen sein würden). Beide Spalten ermöglichen später die Ermittlung des Verhältnisses zwischen Schlacke und Eisen in einer berechneten Beschickung sowie des Eisenausbringens.

In den Spalten 8 bis 13 folgen die Sauerstoffgehalte der in den Spalten 1 bis 5 aufgeführten Gewichtsmengen der einzelnen Körper.

Stöchiometrische Erz- und Zuschlagstabelle der Eisenhütte zu . . . .

Benennung des Erzes, Zuschlages usw.	1 Gewichtsteil enthält																	Stöchiometrische Äquivalente			
	Schlackengebende Bestandteile							Sauerstoff der schlackengebenden Bestandteile						Überschüssiger Sauerstoff neben einem				Bedarf an Erz oder Zuschlag zur Einbringung von 1 Gewichtsteil des neben einem			
														Singulosilikat		Bisilikat		Singulosilikat		Bisilikat	
																		überschüssigen Sauerstoffs			
	MnO	CaO	MgO	Al_2O_3	SiO_2	zusammen	Fe	MnO	CaO	MgO	Al_2O_3	Sauerstoff der Basen	Sauerstoff der SiO_2	in den Basen	in der Säure	in den Basen	in der Säure	in den Basen	in der Säure	in den Basen	in der Säure
												B	S	β	σ	β	σ	$\frac{1}{\beta}$	$\frac{1}{\sigma}$	$\frac{1}{\beta}$	$\frac{1}{\sigma}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1. Liaserz (oolithisches Brauneisenerz) . .	0,007	—	—	0,065	0,156	0,228	0,428	0,0016	—	—	0,0305	0,0321	0,0832	—	0,0511	—	0,0190	—	19,59	—	52,62
2. Spateisenstein	0,023	0,159	0,085	—	0,011	0,278	0,226	0,0051	0,0454	0,0340	—	0,0845	0,0059	0,0786	—	0,0815	—	12,72	—	12,27	—
3. Rasenerz . .	0,003	0,012	—	0,010	0,095	0,120	0,403	0,0007	0,0034	—	0,0047	0,0088	0,0506	—	0,0418	—	0,0330	—	23,92	—	30,[illegible]0
4. Kalkstein. .	—	0,518	—	—	0,021	0,539	—	—	0,1480	—	—	0,1480	0,0112	0,1368	—	0,1424	—	7,31	—	7,02	—
5. Koksasche .	—	0,200	—	0,150	0,500	0,850	0,103	—	0,0571	—	0,0705	0,1276	0,2664	—	0,1388	—	0,0112	—	7,20	—	89,28

Eine Zusammenzählung der in den Spalten 8 bis 11 enthaltenen Ziffern ergibt die Ziffer für Spalte 12, d. h. den gesamten in Basen auftretenden Sauerstoff (mit B bezeichnet), während Spalte 13 (S) den Sauerstoffgehalt der Kieselsäure angibt. Das Verhältnis $\frac{S}{B}$ bezeichnet den Silicierungsgrad (das Verhältnis des Sauerstoffgehaltes der Kieselsäure zu dem der Basen) des betreffenden Erzes, Zuschlages usw.

Hieraus lassen sich nun die Ziffern für die Spalten 14 bis 17 berechnen, welche angeben, wie viel Sauerstoff entweder die Basen oder die Kieselsäure des betreffenden Erzes usw. überschüssig enthalten, wenn irgend ein vorgeschriebenes Silikat gebildet werden soll. In der als Beispiel benutzten Tabelle ist die Rechnung für Singulosilikat- und für Bisilikatbildung durchgeführt worden; in derselben Weise würde sie für Subsilikat, Sesquisilikat und jede andere Silicierungsstufe, entsprechend der Zusammensetzung der zu bildenden Schlacke, sich haben anstellen lassen.

Bei dem unter 1 aufgeführten Liaserze z. B. beträgt nach Spalte 12 der Sauerstoff der Basen 0,0321, nach Spalte 13 der Sauerstoff der Kieselsäure 0,0832 Gewichtsteile in 1 Gewichtsteil Erz. Für Bildung einer Singulosilikatschlacke, in welcher der Sauerstoffgehalt der Basen gleich dem der Kieselsäure sein soll, besitzt demnach das Erz überschüssigen Sauerstoff der Kieselsäure, und zwar 0,0832 — 0,0321 = 0,0511 Gewichtsteile; diese Ziffer kommt nach Spalte 15. Soll dagegen Bisilikatschlacke gebildet werden, bei welcher der Sauerstoffgehalt der Kieselsäure doppelt so grofs ist als der der Basen, so würden für die 0,0321 Gewichtsteile Basensauerstoff 2 × 0,0321 = 0,0642 Gewichtsteile Sauerstoff der Kieselsäure erforderlich sein; es ist also immer noch ein Überschufs des Sauerstoffs der Kieselsäure = 0,0832 — 0,0642 = 0,0190 Gewichtsteile vorhanden (Spalte 17).

Bezeichnet man (wie in der Tabelle bereits geschehen) die Ziffern der Spalte 12 allgemein mit B, der Spalte 13 mit S, der Spalte 14 und 16 mit β, der Spalte 15 und 17 mit σ, so hat man

für $^2/_3$ Silikatbildung . . . $\beta = B - 1\,^1/_2\ S$
$\sigma = S - {}^2/_3\ B$

für Singulosilikatbildung . . $\beta = B - S$
$\sigma = S - B$

für Sesquisilikatbildung . . $\beta = B - {}^2/_3\ S$
$\sigma = S - 1\,^1/_2\ B$

für Bisilikatbildung . . . . $\beta = B - {}^1/_2\ S$
$\sigma = S - 2\ B$

allgemein für die Bildung eines Silikates, in welchem das Verhältnis des Sauerstoffgehalts der Kieselsäure zu dem der Basen = n ist:

$$\beta = B - \frac{1}{n} S$$

$$\sigma = S - n\ B.$$

Als gegenseitige Werte $\left(\frac{1}{\beta}, \frac{1}{\sigma}\right)$ der Ziffern in den soeben besprochenen Spalten ergeben sich nun durch einfache Teilung die Ziffern der Spalten 18 bis 21. Sie geben an, wieviel Gewichtsteile des Erzes, Zuschlages usw. erforderlich sind, um 1 Gewichtsteil des neben einem Singulosilikate, Bisilikate usw. überschüssigen Sauerstoffs in die Beschickung zu bringen. Wenn 1 Gewichtsteil Erz β Gewichtsteile Sauerstoff in den Basen mehr enthält, als zur Bildung eines vorgeschriebenen Silikates notwendig ist, so bedarf man offenbar, um 1 Gewichtsteil dieses überschüssigen Basensauerstoffs in die Beschickung zu bringen, $\frac{1}{\beta}$ Gewichtsteile des betreffenden Erzes; die nämliche Beziehung ergibt sich, wenn das Erz nicht überschüssigen Basensauerstoff, sondern überschüssigen Kieselsäuresauerstoff enthält. Das Liaserz Nr. 1 enthält für Singulosilikatbildung in 1 Gewichtsteil Erz 0,0511 überschüssigen Kieselsäuresauerstoff; zur Einbringung von 1 Gewichtsteil dieses überschüssigen Kieselsäuresauerstoffs sind demnach $\frac{1}{0{,}0511} = 91{,}59$ Gewichtsteile Erz erforderlich (Spalte 19).

Die Ziffern dieser Spalten, in der Überschrift als stöchiometrische Äquivalente bezeichnet, geben also diejenigen Gewichtsmengen der verschiedenen Erze usw. an, durch welche bei bestimmter Silikatbildung die gleichen Mengen Sauerstoff in die Beschickung geführt werden. Alle in derselben Spalte erscheinenden Ziffern sind betreffs der Silikatbildung einander gleichwertig; sie geben an, wieviel des einen Erzes usw. erforderlich ist, um ein anderes zu ersetzen, ohne dafs eine Änderung in dem Kieselsäuregehalte der erfolgenden Schlacke eintritt.

Jedes basische Äquivalent gibt mit so vielen Säureäquivalenten, als der Silicierungsgrad der zu bildenden Schlacke angibt, eine Schlacke von dem verlangten Silicierungsgrade. Für Singulosilikatbildung (Spalten 18 und 19) hat man je ein basisches Äquivalent mit je einem Säureäquivalente zusammenzustellen, für Bisilikatbildung (Spalten 20 und 21) je ein basisches Äquivalent mit je zwei Säureäquivalenten, usf.

Die Tabelle zeigt uns z. B. sofort, dafs es ohne Anwendung sonstiger Zuschläge möglich ist, aus den unter 1 und 2 aufgeführten Erzen eine Singulo- wie eine Bisilikatschlacke zu bilden; in beiden Fällen liefert das Liaserz Nr. 1 das Säureäquivalent, der Spateisenstein Nr. 2 das basische Äquivalent.

Für Singulosilikatschlacke ist ein Äquivalent oder 19,59 Gewichtsteile Liaserz mit einem Äquivalent oder 12,72 Gewichtsteilen Spateisenstein zu vereinigen[1]).

[1]) Wenn der Spateisenstein, wie es gewöhnlich der Fall ist, nicht im rohen, sondern im gerösteten Zustande verhüttet wird, so mufs selbstverständlich auch die chemische Zusammensetzung des gerösteten Steines der Berechnung zugrunde gelegt werden.

Beweis.

19,59	Gewichtsteile Liaserz enthalten Sauerstoff der Basen 19,59 × 0,0321	0,629
12,72	Gewichtsteile Spateisenstein enthalten Sauerstoff der Basen 12,72 × 0,0845	1,075
		1,704
19,59	Gewichtsteile Liaserz enthalten Sauerstoff der Kieselsäure 19,59 × 0,0832	1,629
12,72	Gewichtsteile Spateisenstein enthalten Sauerstoff der Kieselsäure 12,72 × 0,0059	0,075
		1,704

Für Bisilikatschlacke sind zwei Äquivalente oder 2 × 52,62 = 105,24 Gewichtsteile des Liaserzes mit einem Äquivalente oder 12,27 Gewichtsteilen des Spateisensteins zu vereinigen.

Beweis.

105,24	Gewichtsteile Liaserz enthalten Sauerstoff der Basen 105,24 × 0,0321	3,378
12,27	Gewichtsteile Spateisenstein enthalten Sauerstoff der Basen 12,27 × 0,0845	1,036
		4,414
105,24	Gewichtsteile Liaserz enthalten Sauerstoff der Kieselsäure 105,24 × 0,0832	8,756
12,27	Gewichtsteile Spateisenstein enthalten Sauerstoff der Kieselsäure 12,27 × 0,0059	0,072
		8,828

Da die Zusammensetzung der einzelnen Erze bekannt und, soweit sie die schlackenbildenden Bestandteile betrifft, in den Spalten 1 bis 5 enthalten ist, läfst sich auch die gesamte Zusammensetzung der Schlacke berechnen, nachdem man die Beschickung in der soeben erläuterten Weise zusammengestellt hat. Jene Singulosilikatschlacke aus 19,59 Gewichtsteilen Liaserz und 12,72 Gewichtsteilen Spateisenstein würde z. B. enthalten:

MnO aus dem	Liaserz 19,59 × 0,007 . . .	0,137 Gewichtsteile	
" " "	Spateisenstein 12,72 × 0,023	0,292 "	
			0,429 Gewichtsteile
CaO " "	Liaserz 19,59 × 0,000		
" " "	Spateisenstein 12,72 × 0,159		2,022 "
MgO " "	Liaserz 19,59 × 0,000		
" " "	Spateisenstein 12,72 × 0,085		1,081 "
Al_2O_3 " "	Liaserz 19,59 × 0,065		1,273 "
" " "	Spateisenstein 12,72 × 0,000		
SiO_2 " "	Liaserz 19,59 × 0,156 . . .	3,057 Gewichtsteile	
" " "	Spateisenstein 12,72 × 0,0011	0,139 "	
			3,196 "
			8,001 Gewichtsteile

32,31 Gewichtsteile Beschickung aus den beiden Erzsorten liefern mithin 8,001 Gewichtsteile Schlacke, deren Zusammensetzung sich nunmehr ohne Schwierigkeit berechnen lassen würde. Handelt es sich nur darum, die Gesamtmenge der erfolgenden Schlacke, nicht ihre Zusammensetzung zu ermitteln, so würde man kürzer durch

Benutzung der in Spalte 6 enthaltenen Ziffern zum Ziele gelangt sein.

Das Verhältnis der Tonerde zu den übrigen Basen in der Schlacke beträgt $1{,}278 : 3{,}532 = 1 : 2{,}7$ [1]).

Der Eisengehalt der berechneten Beschickung würde betragen (Spalte 7):

$19{,}59 \times 0{,}428$	$8{,}384$	Gewichtsteile
$12{,}72 \times 0{,}226$	$2{,}874$	„
$32{,}31$ Gewichtsteile Beschickung enthalten	$11{,}258$	Gewichtsteile,
	d. i. $34{,}8$	v. H. Eisen.

Das Ausbringen an Roheisen würde sich wegen dessen Kohlenstoffgehalts etwas höher beziffern und etwa 36 v. H. betragen. Das Verhältnis der erfolgenden Schlackenmenge zum Eisen ist $8{,}001 : 11{,}825 = 0{,}7 : 1$ und läſst sich demnach als für den Betrieb günstig bezeichnen.

Geschieht die Verhüttung mit Brennstoffen, welche bedeutende Aschenmengen hinterlassen, so muſs man diesen Aschengehalt bei der Berechnung berücksichtigen. Es kann dieses in folgender Weise geschehen. Man ermittelt die Menge des Aschengehalts sowie dessen chemische Zusammensetzung und trägt die letztere ebenso wie die der übrigen Bestandteile der Beschickung in die Tabelle ein (vgl. die oben mitgeteilte Tabelle). Nun veranschlagt man den zur Verhüttung von 100 kg Erzen und Zuschlägen erforderlichen Koksverbrauch, welcher in den meisten Fällen 30 bis 40 kg, durchschnittlich also 35 kg beträgt, und berechnet hiernach den Koksverbrauch zur Verhüttung der die berechnete Beschickung bildenden Erz- und Zuschlagsmengen. Aus dem Koksverbrauche ergibt sich die erfolgende Aschenmenge, und man hat dann nur nötig, aus der Tabelle zu entnehmen, welche Menge eines entgegengesetzt zusammengesetzten Erzes oder Zuschlages für ihre Verschlackung erforderlich ist.

Es möge z. B. die Verhüttung der oben für Singulosilikatschlacke berechneten, aus $19{,}59$ Gewichtsteilen Liaserz und $12{,}72$ Gewichtsteilen Spateisenstein bestehenden Beschickung mit Koks bewirkt werden, deren Aschengehalt 10 v. H. beträgt, und die chemische Zusammensetzung der Koksasche entspreche den in Reihe 5 der Tabelle enthaltenen Ziffern. $32{,}31$ Gewichtsteile Beschickung werden zu ihrer Verhüttung etwa 12 Gewichtsteile Koks erfordern, welche $1{,}2$ Gewichtsteile Asche liefern. Bei Singulosilikatbildung sind $7{,}2$ Gewichtsteile Koksasche ein Säureäquivalent (Spalte 19), $1{,}2$ Gewichtsteile Koksasche mithin $1/6$ Äquivalent. Es ist also $1/6$ basisches Äquivalent zur Verschlackung der Koksasche erforderlich; benutzt man hierzu wiederum den Spateisenstein, so müſsten noch $1/6 \times 12{,}72 = 2{,}12$ Gewichtsteile Spateisenstein mehr, als oben berechnet wurde, in die Beschickung geführt werden, und diese besteht dann aus

$19{,}59$ Gewichtsteilen Liaserz,
$14{,}84$ „ Spateisenstein.

---

[1]) Über die Einflüsse des Tonerdegehalts der Silikate auf die Schmelzbarkeit der Schlacken vergl. S. 213 I.

Hält man es aus irgend einem Grunde für zweckmäſsiger, die Verschlackung nicht durch Vermehrung des Spateisensteins, sondern durch einen Zuschlag von Kalkstein zu bewirken, dessen Zusammensetzung in der Reihe 4 aufgeführt ist, so müſsten, da dessen Äquivalent für Singulosilikatbildung = 7,81 ist (Spalte 18), $^1/_6 \times 7{,}81 = 1{,}32$ Gewichtsteile Kalkstein der Beschickung zugeschlagen werden.

Will man auch den Schwefelgehalt der mineralischen Brennstoffe berücksichtigen, welcher zum groſsen Teile in die Schlacke geht und hierbei einen Teil des Calciumgehalts bindet, so kann man hierfür folgenden Weg einschlagen. 1 Teil Schwefel erfordert 1,25 Teile Calcium, welche 1,75 Teilen Kalkerde mit 0,50 Teilen Sauerstoff in der Beschickung entsprechen. Diese 1,75 Teile Kalkerde müssen durch Vermehrung der basischen Bestandteile gedeckt werden. Enthalten z. B. die in dem soeben berechneten Beispiele erforderlichen 12 Gewichtsteile Koks 2 v. H. Schwefel, so betrüge ihr Gesamtschwefelgehalt 0,024 Gewichtsteile, und um diesen zu binden, müſste die Beschickung so viel basische Bestandteile mehr, als berechnet worden war, enthalten, daſs dadurch $0{,}024 \times 0{,}50 = 0{,}012$ Gewichtsteile Sauerstoff zugeführt würden. Die Menge des berechneten Spateisensteins würde sich demnach in diesem Falle noch um $0{,}012 \times 12{,}72 = 0{,}15$ Gewichtsteile vermehren. Hierbei ist angenommen, daſs der Schwefelgehalt des Koks vollständig in die Schlacke geht, was jedoch nicht der Fall ist; dagegen pflegen auch die Erze einen kleineren oder gröſseren Schwefelgehalt zu liefern. Immerhin sind, wie man sieht, auch die durch einen verhältnismäſsig reichlichen Schwefelgehalt bedingten Änderungen in der Zusammensetzung der Beschickung nicht sehr erheblich und können meistens vernachlässigt werden.

Über das Verhältnis des Kalkerdegehalts zum Magnesiagehalte der erfolgenden Schlacke, welches für die Schmelzbarkeit nach S. 212 I bedeutungsvoll ist, kann man sich ohne Schwierigkeit Rechenschaft geben, sobald die Beschickung berechnet worden ist; ebenso über den Phosphorgehalt des erfolgenden Roheisens. Man legt hier am einfachsten die Annahme zugrunde, daſs der Phosphorgehalt der Erze vollständig in das Eisen übergehe, was wenigstens annähernd zutrifft.

In derselben Weise, wie in dem vorstehenden Beispiele eine Beschickung aus nur zwei Erzen berechnet wurde, läſst sich eine Beschickung aus beliebig vielen Erzen und Zuschlägen zusammensetzen, sofern man die Regel befolgt, *daſs die Summe sämtlicher Säureäquivalente sich zu der Summe sämtlicher basischen Äquivalente verhält, wie es die durch den Silicierungsgrad der zu bildenden Schlacke angegebene Verhältniszahl vorschreibt.* Je ein basisches Äquivalent muſs bei Singulosilikatbildung durch ein, bei Bisilikatbildung durch zwei, bei Zweidrittelsilikatbildung durch $^2/_3$ Säureäquivalente gedeckt werden, u. s. f. Treten hierbei mehrere basische oder mehrere saure Schmelzstoffe nebeneinander auf, so muſs ihr zweckmäſsigstes gegenseitiges Verhältnis untereinander nach ihren sonstigen Eigentümlichkeiten bemessen werden. Hierher gehört ihr

verschiedener Tonerdegehalt in Rücksicht auf den Umstand, dafs der Tonerdegehalt der Schlacke weder zu beträchtlich noch zu gering ausfallen darf, wenn sie nicht zu strengflüssig werden soll; ferner das Verhältnis der Magnesia zur Kalkerde. Sodann kommt der Eisengehalt der berechneten Beschickung in Betracht, sowie das Verhältnis der erfolgenden Schlacke zu dem Roheisen; ferner die Menge der fremden Bestandteile — des Phosphors, Mangans, unter Umständen Schwefels —, welche dem Roheisen aus dem einen oder andern Erze zugeführt werden und seine Eigenschaften beeinflussen. Endlich darf auch, wie schon erwähnt wurde, das Preisverhältnis der einzelnen zur Verhüttung stehenden Erze und Zuschläge nicht unberücksichtigt bleiben, von welchem zum grofsen Teil die Erzeugungskosten des erfolgenden Roheisens abhängen.

Es liege z. B. die Aufgabe vor, aus dem Liaserze (Nr. 1) und dem Rasenerze (Nr. 3) unter Zuschlag von Kalkstein eine Beschickung für Bisilikatschlacke zusammenzustellen, in welcher das Verhältnis der Tonerde zur Kalkerde nebst Magnesia nicht mehr als höchstens $^1/_3$ beträgt. Auch von dem Spateisenstein möge, sofern es sich als zweckmäfsig herausstellen sollte, eine entsprechende Menge in Mitverwendung genommen werden.

Für Bisilikatbildung mufs je ein basisches Äquivalent zwei Säureäquivalenten gegenüberstehen. In dem vorliegenden Falle treten, wie die Spalten 20 und 21 nachweisen, das Liaserz und das Rasenerz als Säureäquivalente, der Kalkstein und der Spateisenstein als basische Äquivalente auf; ohne Zusatz eines der beiden letztgenannten Stoffe würde mithin die Verhüttung der Lias- und Rasenerze mit Bisilikatbildung überhaupt nicht möglich sein.

Stellt man zunächst versuchsweise eine Beschickung ohne Spateisenstein aus je einem Äquivalent der beiden Erze zusammen, so besteht sie aus:

1 Äquivalent Liaserz	52,62	Gewichtsteile
1 „ Rasenerz	30,80	„
2 Äquivalente		
1 Äquivalent Kalkstein	7,02	„
	89,94	Gewichtsteile.

Der Gehalt an Al_2O_3 sowie an $CaO + MgO$ in dieser Beschickung beträgt:

				Al_2O_3		CaO, MgO	
52,62	Gewichtsteile	Liaserz	enthalten	3,42	Gewichtsteile	—	Gewichtsteile
39,80	„	Rasenerz	„	0,80	„	0,36	„
7,02	„	Kalkstein	„	—	„	3,63	„
				3,72	Gewichtsteile	3,99	Gewichtsteile.

Das Verhältnis der Tonerde zur Kalkerde und Magnesia ist also viel zu hoch. Die Menge des Liaserzes mufs bedeutend abgemindert, die des Rasenerzes erhöht werden.

Nimmt man von ersterem nur 0,2 Äquivalent, so besteht nunmehr die Beschickung aus:

				Al_2O_3	CaO, MgO
0,2 Äquiv.	Liaserz	= 10,52 Gewichtst.	mit	0,68 Gewichtst.	— Gewichtst.
1,8 „	Rasenerz	= 54,54 „	„	0,54 „	0,65 „
2,0 Äquiv.					
1,0 „	Kalkstein	= 7,02 „	„	— „	3,63 „
		72,08 Gewichtst.	mit	1,22 Gewichtst.,	4,28 Gewichtst.

und es hat sich demnach jenes Verhältnis auf 1 : 3,5 ermäfsigt.

Der Eisengehalt dieser zuletzt berechneten Beschickung würde betragen:

10,52 Gewichtsteile	Liaserz enthalten Fe . .	4,50	Gewichtsteile
54,54 „	Rasenerz „ „ . .	21,97	„
7,02 „	Kalkstein „ „ . .	--	„
72,08 Gewichtsteile	Beschickung enthalten Fe	26,47	Gewichtsteile
	oder etwa 36,7 v. H		

Unter Berücksichtigung des in das Eisen übergehenden Kohlenstoffgehalts ist also ein Roheisenausbringen von etwa 38 v. H. zu erwarten, und die Beschickung würde in dieser Beziehung als schmelzwürdig erscheinen, ohne dafs eine Anreicherung des Eisengehalts — etwa durch Ersatz des Kalksteins durch Spateisenstein — notwendig wäre. Eine andere Veranlassung dazu könnte jedoch der Umstand sein, dafs jene Lias- und Rasenerze reich an Phosphor wären und eine Abminderung des Phosphorgehalts als notwendig oder wünschenswert sich erwiese. Das Liaserz möge 0,5 v. H. Phosphor, das Rasenerz 0,6 v. H. Phosphor enthalten. Der Phosphorgehalt des erfolgenden Roheisens würde demnach betragen:

10,52 Gewichsteile	Liaserz liefern Phosphor . .	0,052	Gewichtsteile
54,54 „	Rasenerz „ „ . .	0,327	„
		0,379	Gewichtsteile.

Die 0,379 Gewichtsteile Phosphor werden von 26,47 Gewichtsteilen Eisen, welche der oben angestellten Berechnung zufolge in den Erzen enthalten sind, aufgenommen; der Gehalt des erfolgenden Roheisens an Phosphor wird mithin etwa 1,4 v. H. sein.

Der Spateisenstein sei frei von Phosphor. Ersetzt man nun versuchsweise den gesamten Zuschlagskalkstein durch eine gleichwertige Menge Spateisenstein, so erhöht man das Eisenausbringen der Beschickung und erniedrigt auf diese Weise den Phosphorgehalt des erfolgenden Eisens. Man erhält alsdann folgende neue Beschickung:

				Al_2O_3	CaO, MgO	Fe	P
0,2 Äquiv.	Liaserz	= 10,52	Gewichtsteile mit	0,68	—	4,50	0,052
1,8 „	Rasenerz	= 54,54	„ „	0,54	0,65	21,97	0,327
1 „	Spateisenstein	= 12,27	„ „	—	2,99	2,77	—
Zusammen	Beschickung	77,33	Gewichtsteile mit	1,22	3,64	29,24	0,379

Verhältnis der Tonerde zu Kalk und Magnesia = 1 : 3,
Eisengehalt der Beschickung 37,8 v. H.,
Phosphorgehalt des Eisens etwa 1,3 v. H.

Die Abminderung des Phosphorgehalts würde mithin in diesem Falle nicht erheblich sein. Als Giefsereiroheisen aber wäre das Erzeugnis immerhin benutzbar, sofern der Mangangehalt nicht zu

hoch ausfällt. Wenn der in der Tabelle auf S. 238 angegebene Manganoxydulgehalt ein Drittel des gesamten im Erze anwesenden Gehalts ausmacht und zwei Drittel reduziert in das Roheisen übergehen, so würde dieses bei Verhüttung der Beschickung ohne Spateisenstein etwa 1,8 v. H., bei Verhüttung der Beschickung mit Spateisenstein etwa 2,7 v. H. Mangan enthalten. Das erstere, manganärmere Roheisen würde als Gieſsereiroheisen brauchbar sein, das mit Zusatz von Spateisenstein erblasene dagegen zu reich an Mangan.

Selbst wenn jedoch der letztere Umstand kein Hindernis für die Verhüttung bildete, so bliebe noch die Frage zu beantworten, wie sich die Kosten der beiden berechneten Beschickungen gegen einander verhalten. Ein Vergleich in dieser Beziehung ist nur möglich, wenn man diese Kosten nicht auf die Gewichtseinheit der Beschickung, sondern auf die Gewichtseinheit des in der Beschickung enthaltenen Eisens bezieht. Beispielsweise mögen die Kosten der verschiedenen Erze einschlieſslich der Fracht nach der Hütte folgende sein:

für 1000 kg	Liaserz	. . . .	9 ℳ
„ 1000 „	Rasenerz	. . . .	6 „
„ 1000 „	Spateisenstein	. . . .	8 „
„ 1000 „	Kalkstein	. . . .	4 „

so kosten bei der zuerst berechneten Beschickung ohne Spateisenstein:

10,52 kg	Liaserz	mit	4,50 kg Eisen	. . .	0,095 ℳ
54,54 „	Rasenerz	„	21,97 „ „	. . .	0,327 „
7,02 „	Kalkstein	„	— „ „	. . .	0,028 „
			26,47 kg Eisen	. . .	0,450 ℳ

26,47 kg Eisen in der Beschickung kosten 0,450 ℳ, also 1000 kg Eisen 17 ℳ.

Bei der zweiten Beschickung mit Spateisenstein würden die Kosten betragen:

10,52 kg	Liaserz	mit	4,50 kg Eisen	.	0,095 ℳ
54,54 „	Rasenerz	„	21,97 „ „	.	0,327 „
12,27 „	Spateisenstein	„	2,77 „ „	.	0,098 „
			29,24 kg Eisen	.	0,520 ℳ

also würden 1000 kg Eisen in der Beschickung 17,78 ℳ kosten, d. i. 78 ₰ mehr als in der ersten phosphorreicheren Beschickung, und um annähernd ebensoviel würde sich der Selbstkostenpreis des erfolgenden Roheisens erhöhen. Man würde auch aus diesem Grunde von der Verwendung des Spateisensteins voraussichtlich absehen.

Eine solche Bisilikatschlacke, wie hier berechnet wurde, ist nur bei Holzkohlenbetrieb möglich. Bei dem Betriebe mit Koks müſste ein Singulosilikat oder eine noch basischere Schlacke gebildet und der Aschengehalt der Koks berücksichtigt werden. Der hierbei einzuschlagende Weg ist durch die schon gegebenen Beispiele genügend gekennzeichnet.

Wo eine Tabelle mit den sämtlichen für die Verhüttung bestimmten Schmelzstoffen einmal berechnet worden ist, läſst sich,

wie die Beispiele beweisen, in kurzer Zeit eine Beschickung für eine vorgeschriebene Zusammensetzung der Schlacke ausmitteln; wo aber die Beschaffenheit der zu gattierenden Erze es überhaupt unmöglich macht, diese oder jene Schlacke zu bilden, gibt die Tabelle sofort den Nachweis darüber.

Ebenso leicht wie die Berechnung neuer Beschickungen lassen sich Änderungen vorhandener Beschickungen mit Hilfe der Tabelle vornehmen, wenn z. B. der Vorrat einer Erzsorte zu Ende geht, wenn ein neues Erz in die Beschickung eingeschaltet werden soll, wenn der Phosphorgehalt abgemindert oder der Mangangehalt erhöht werden soll, und dergleichen mehr. Im Betriebe kommt dieser Fall noch häufiger vor als die Berechnung einer neuen Beschickung, und die Lösung dieser Aufgabe ist insofern leichter, da hier gewöhnlich bereits eine Schlacke von bewährter Zusammensetzung vorhanden ist und es also nur darauf ankommt, die Zusammensetzung der Beschickung zu ändern, ohne dafs die Zusammensetzung der Schlacke wesentliche Änderungen erfährt. In allen derartigen Fällen bleibt der Silicierungsgrad der Schlacke derselbe, sofern man die verschiedenen Erze oder Zuschläge in dem Gewichtsverhältnisse, welches ihre stöchiometrischen Äquivalente angeben, sich gegenseitig vertreten läfst. 19,59 Gewichtsteile Liaserz sind bei Singulosilikatbildung, wie Spalte 19 der mitgeteilten Tabelle ohne weiteres angibt, gleichwertig mit 23,92 Gewichtsteilen Rasenerz; enthält also eine Beschickung 25 Gewichtsteile Liaserz, welche durch Rasenerz ersetzt werden sollen, so würden dazu $\frac{23{,}92}{19{,}59} \times 25 = 30{,}5$ Gewichtsteile des letzteren Erzes erforderlich sein. Der Silicierungsgrad der Schlacke würde in diesem Falle unverändert bleiben; der Tonerdegehalt der Beschickung aber würde, wie sich leicht erkennen läfst, bei dem Ersatze des Liaserzes durch Rasenerz geringer ausfallen. Soll dieses vermieden werden, so würde ein Zusatz eines tonerdereicheren Erzes erforderlich sein, und sobald dessen Zusammensetzung und Äquivalentzahl ermittelt worden ist, würde die Tabelle wiederum erkennen lassen, in welcher Weise ein solcher Zusatz sich ermöglichen läfst [1]).

Vereinfachte Verfahren von Platz und Blum.

Mrázeks vorstehend besprochene Berechnungsweise der Beschickung wird besonders durch die erforderliche Berechnung der Sauerstoffgehalte und der erst aus diesen sich ergebenden stöchiometrischen Äquivalente umständlich. Die Berechnung wird einfacher, wenn man davon absieht, eine bestimmte Silicierungsstufe

---

[1]) Über ein von Balling vorgeschlagenes Verfahren zur Vereinfachung der Berechnung durch Aufzeichnung rechtwinkliger Dreiecke, deren Kathetenlängen dem Verhältnisse zwischen Kieselsäure und Base entsprechen, vergl. Carl A. M. Balling, Compendium der metallurgischen Chemie, Bonn 1882, S. 99; auch Th. Beckert, Leitfaden zur Eisenhüttenkunde, Berlin 1885, S. 192.

zu bilden und sich, wie Platz vorschlägt[1]), darauf beschränkt, ein bestimmtes gegenseitiges Gewichtsverhältnis zwischen Kieselsäure nebst Tonerde einerseits und den Basen von der allgemeinen Formel RO (CaO, MgO, MnO, FeO, auch BaO, SrO) herzustellen. Dafs diese Basen sich keineswegs nach dem Verhältnisse ihrer Molekülgewichte in den Silikaten gegenseitig ersetzen können, ohne dafs die Schmelzbarkeit der Silikate sich ändert, wurde schon erwähnt; stellt man sich auf den Boden dieser Tatsache, so fällt auch die Notwendigkeit weg, die Silicierungsstufe einer Schlacke als Ausgangspunkt für die Berechnung der Beschickung zu wählen. Dafs die Kieselsäure und die Tonerde einer Schlacke sich wenigstens insofern zu ersetzen vermögen, als mit Zunahme des Tonerdegehalts der Kieselsäuregehalt niedriger werden mufs, wenn verhältnismäfsig leicht schmelzbare Schlacken entstehen sollen, ergibt sich aus den Schaulinien der Abb. 68 auf S. 214 I. Achtet man also bei der Zusammensetzung der Beschickung darauf, dafs auch das Verhältnis zwischen Kieselsäure und Tonerde sich innerhalb derjenigen Grenzen bewege, welche durch die Zusammensetzung vorhandener Schlacken von bewährter Schmelzbarkeit gegeben sind, so ist nicht zu bezweifeln, dafs man auch auf diesem einfacheren Wege zu einem befriedigenden Ergebnisse gelangen kann.

Bei der Berechnung bezieht man das Verhältnis der Basen (einschliefslich des an Schwefel gebundenen Calciums) zur Kieselsäure nebst Tonerde in der zu bildenden Schlacke auf 100 Gewichtsteile. Enthält z. B. eine Schlacke, welche als Vorbild für die anzustrebende Zusammensetzung dienen soll, 48,5 v. H. Kieselsäure und Tonerde, 47,5 v. H. Basen, 4 v. H. Schwefelcalcium, so würden für diese 4 Teile Schwefelcalcium 3 Teile Kalkerde einzusetzen sein, welche ungefähr die gleiche Menge Ca enthalten. In 100 Teilen der Sauerstoffverbindungen (einschliefslich jener 3 Teile Kalkerde) sind demnach 49 Teile Kieselsäure nebst Tonerde und 51 Teile Basen enthalten. Wenn nun beispielsweise das in der Tabelle auf S. 238 unter 1 aufgeführte Liaserz mit dem unter 4 aufgeführten Kalkstein beschickt und dabei eine Schlacke von der angegebenen Zusammensetzung gebildet werden soll, so kann die Rechnung folgendermafsen ausgeführt werden:

100 Teile Liaserz enthalten an schlackengebenden Bestandteilen[2]) nach Mafsgabe der Tabelle

SiO_2	Al_2O_3	MnO	CaO	MgO
15,6	6,5	0,7	—	—

also $SiO_2 + Al_2O_3 = 22{,}1$ Gewichtsteile.

Um das Verhältnis $\frac{\text{Basen}}{SiO_2 + Al_2O_3} = \frac{51}{49}$ zu bilden, müssen jenem Gehalte an $(SiO_2 + Al_2O_3)$ $22{,}1 \frac{51}{49} = 23{,}0$ Gewichtsteile Basen gegenübergestellt werden, von welchen das Liaserz selbst nur 0,7 Ge-

[1]) „Stahl und Eisen" 1892, S. 2.

[2]) Von dem Manganoxydulgehalte des Erzes wird als schlackenbildend auch bei dieser Berechnungsweise nur ein Drittel oder weniger eingestellt.

wichtsteile liefert, so dafs 22,8 Gewichtsteile durch den Kalksteinzuschlag beschafft werden müssen.

100 Teile Kalkstein enthalten:

SiO_2	Al_2O_3	MnO	CaO	MgO
2,1	—	—	51,8	—

Von dem Kalkgehalte werden durch die anwesende Kieselsäure selbst $\frac{51}{49} \times 2{,}1 = 2{,}2$ Gewichtsteile gebunden; verfügbar bleiben $51{,}8 - 2{,}2 = 49{,}6$ Gewichtsteile. 100 Gewichtsteile Kalkstein führen demnach 49,6 Gewichtsteile verfügbare Basen zu; zur Beschickung von 100 Gewichtsteilen Liaserz waren 22,8 Gewichtsteile Basen erforderlich, also müssen $\frac{100 \times 22{,}8}{49{,}6} = 45$ Gewichtsteile Kalkstein zugeschlagen werden.

Diese Beschickung aus 100 Teilen Liaserz mit 45 Gewichtsteilen Kalkstein möge nun mit Koks verhüttet werden, deren Aschengehalt 10 v. H. beträgt und die in der obigen Tabelle unter 5 angegebene Zusammensetzung besitzt. Zum Verschmelzen der 145 Gewichtsteile Beschickung würden etwa 60 Gewichtsteile Koks mit 6 Gewichtsteilen Asche erforderlich sein. Diese 6 Gewichtsteile Asche würden in die Beschickung führen:

SiO_2	Al_2O_3	MnO	CaO	MgO
3,0	0,9	—	1,2	—

also $SiO_2 + Al_2O_3 = 3{,}9$ Gewichtsteile. Zur Verschlackung sind $3{,}9 \frac{51}{49} = 4{,}0$ Gewichtsteile Basen erforderlich, von welchen die Asche selbst 1,2 Gewichtsteile liefert, so dafs 2,8 zu beschaffen bleiben. Hierfür sind noch $\frac{100 \times 2{,}8}{49{,}6} = 5{,}6$ oder rund 6 Gewichtsteile Kalkstein erforderlich. Die Beschickung besteht demnach aus 100 Teilen Liaserz mit 51 Teilen Kalkstein. Die erfolgende Schlacke enthält:

	SiO_2	Al_2O_3	MnO	CaO	MgO
aus 100 Teilen Liaserz . .	15,6	6,5	0,7	—	—
„ 6 „ Koksasche .	3,0	0,9	—	1,2	—
„ 51 „ Kalkstein . .	1,0	—	—	26,4	
	19,6	7,4	0,7	27,6	—

oder in Hundertteilen:

SiO_2	Al_2O_3	MnO	CaO	MgO
35,4	13,4	1,3	49,9	—

Der Silicierungsgrad der Schlacke entspricht einem 0,9 Silikat. Der Eisengehalt der Beschickung beträgt nur etwa 29 v. H.[1]), das Verhältnis der erfolgenden Schlacke zum Roheisen, sofern man das Ausbringen an letzterem zu 31 v. H. des Gewichts der Beschickung

[1]) 100 Teile Liaserz enthalten nach der Tabelle 42,8 Teile Eisen, 6 Teile Koksasche enthalten 0,6 Teile Eisen. Diese 43,4 Teile Eisen sind in 151 Teilen Erz nebst Zuschlagskalkstein enthalten; also kommen auf 100 Teile Beschickung 29 Teile Eisen. Ebenso ergibt sich, dafs aus 151 Gewichtsteilen Erz nebst Zuschlagskalkstein 55,3 Gewichtsteile Schlacke, also aus 100 Gewichtsteilen Beschickung 36,6 Gewichtsteile Schlacke erfolgen.

annimmt, $\frac{36,6}{31} = \frac{1,2}{1}$, ist also nicht günstig. Der Zusatz eines an Kieselsäure und Tonerde ärmeren Erzes würde in Rücksicht hierauf notwendig sein.

Hat man ein Erz zur Verfügung, welches einen Überschufs von Basen besitzt, also den Kalkstein vertritt, so wird die Rechnung in der nämlichen Weise durchgeführt. Die Zusammenstellung einer Beschickung aus einer gröfseren Zahl von Erzen läfst sich erleichtern, wenn man sie zu einer Tabelle vereinigt, welche für eine Schlacke mit bestimmtem Verhältnisse der Basen zur Kieselsäure und Tonerde die erforderliche Basenzuschlagsmenge oder den verfügbaren Basengehalt jedes Erzes und Zuschlages enthält. Für die auf S. 238 aufgeführten Erze und Zuschläge könnte diese Tabelle z. B. nachstehende Einrichtung erhalten.

Benennung der Erze, Zuschläge usw.	Schlackenbildende Bestandteile in 100 Gewichtsteilen der Erze, Zuschläge und Asche						Fe	Für Bildung einer Schlacke mit dem Verhältnisse $\frac{\text{Basen}}{SiO_2 + Al_2O_3} = \frac{51}{49}$	
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	MnO	zusammen		erforderlicher Zuschlag an Basen für 100 Gewichtsteile Erz Gewichtsteile	verfügbarer Überschufs an Basen
1. Liaserz . . .	15,6	6,5	—	—	0,7	22,8	42,8	22,3	—
2. Spateisenstein .	1,1	—	15,9	8,5	2,3	27,8	22,6	—	25,5
3. Rasenerz . .	9,5	1,0	1,2	—	0,3	12,0	40,3	9,4	—
4. Kalkstein . .	2,1	—	51,8	—	—	53,9	—	—	49,6
5. Koksasche . .	50,0	15,0	20,0	—	—	85,0	10,0	46,0	—

Wenn beispielsweise die Aufgabe vorliegt, aus etwa 40 Teilen Liaserz, 40 Teilen Rasenerz und 20 Teilen Spateisenstein mit dem erforderlichen Kalksteinzuschlage eine Schlacke von der angegebenen Zusammensetzung zu bilden, so stellt sich die Rechnung folgendermafsen:

40 Teile Liaserz erfordern an Basen . . . . $40\frac{22,3}{100} = 8,9$ Teile

40 „ Rasenerz „ „ „ . . . . $40\frac{9,4}{100} = 3,7$ „

Zusammen 12,6 Teile

20 „ Spat liefern an verfügbaren Basen $20\frac{25,5}{100}$ . . 5,1 „

Demnach bleibt noch als Basenbedarf zu decken . . . . . . 7,5 Teile

und hierfür sind an Kalkstein erforderlich $\frac{100 \times 7,5}{49,6} = 15,1$ Teile.

Zum Schmelzen dieser Beschickung von zusammen etwa 115 Gewichtsteilen werden ungefähr 46 Gewichtsteile Koks mit 10. v. H. ihres Eigengewichts, also 4,6 Gewichtsteilen Asche erforderlich sein, welche nach Mafsgabe der Tabelle $4,6\ \frac{46}{100} = 2,1$ Gewichtsteile

Basen für ihre Verschlackung bedürfen. Für die Beschaffung dieser 2,1 Gewichtsteile Basen sind fernere $\frac{100 \times 2{,}1}{49{,}6} = 4{,}2$ Gewichtsteile Kalkstein erforderlich, so dafs der gesamte Zuschlag an Kalkstein 19,8 Gewichtsteile beträgt. Die erfolgende Schlacke besitzt demnach folgende Zusammensetzung:

	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	MnO
aus 40 Teilen Liaserz . . .	6,2	2,6	—	—	0,3
„ 40 „ Rasenerz . . .	3,8	0,4	0,5	—	0,1
„ 20 „ Spat	0,2	—	3,2	1,7	0,5
„ 19,8 „ Kalkstein . . .	0,4	—	10,0	—	—
„ 4,6 „ Asche	2,3	0,7	0,9	—	—
Zusammen	12,9	3,7	14,6	1,7	0,9
oder in 100 Teilen Schlacke	38,1	10,9	43,2	5,0	2,8
	49,0		51,0		

Bei der Berechnungsweise nach Mrázek war die Tonerde als Base, bei der Berechnungsweise nach Platz als Vertreterin der Kieselsäure in Rechnung gestellt. Diese entgegengesetzte Anschauungsweise besitzt jedoch für den Ausfall der Berechnung keine sehr grofse Wichtigkeit, wenn man nur Sorge trägt, dafs das Verhältnis der Tonerde zur Kieselsäure und den Basen dem durch die Musterschlacke gegebenen Verhältnisse möglichst ähnlich sei. Um jedoch dem mehr neutralen Verhalten der Tonerde besser Rechnung zu tragen, schlägt Blum vor, sie bei der Rechnung ganz aufser Betracht zu stellen, nur das Gewichtsverhältnis der Kieselsäure zu den Basen als mafsgebend anzunehmen, und im übrigen die Rechnung wie bei dem Verfahren von Platz durchzuführen[1]). Die Berechnung wird hierdurch noch einfacher, aber sie kann offenbar nur dann befriedigende Ergebnisse liefern, wenn der Tonerdegehalt der Schlacken keine erheblichen Unterschiede aufweist. Schlacken mit gleichem Verhältnisse der Kieselsäure zu den Basen besitzen doch sehr abweichende Schmelztemperaturen, je nachdem der Tonerdegehalt 5, 10, 15 v. H. oder mehr beträgt.

5. Die Berechnung des Hochofenschmelzganges und die Wärmebilanz.

Sofern man nicht beabsichtigt, den Hochofenschmelzgang in seinen einzelnen Abschnitten zu verfolgen, sondern nur Auskunft über die Umwandlungen erhalten will, welche die Schmelzstoffe im grofsen und ganzen erfuhren, und über die Verwendung, welche der Brennstoff im Ofen fand, kann man von der mühseligen und nicht immer zuverlässigen Untersuchung der Gase und Erze aus verschiedenen Stellen des Hochofens absehen; eine Gegenüberstellung der Zusammensetzung der Schmelzstoffe und der Enderzeugnisse unter Berücksichtigung der Gewichtsverhältnisse, unter welchen jene dem Hochofen zugeteilt und diese von ihm geliefert wurden, genügt hierfür. Die sämtlichen Bestandteile der Rohstoffe müssen in den Erzeugnissen sich wiederfinden; aber die Form, in

[1]) „Stahl und Eisen" 1901, S. 1024.

welcher sie erscheinen, besonders das Verhältnis des Kohlendioxyds zum Kohlenoxyd in den Gichtgasen, ist anders, je nachdem die Reduktion der Erze in reicherem oder weniger reichem Maſse durch festen Kohlenstoff statt durch Kohlenoxyd stattfand, oder je nach dem gröſsere oder geringere Mengen des bei der Reduktion der Erze entstandenen Kohlendioxyds durch Vergasung von Kohle wieder zu Kohlenoxyd reduziert wurden. Wie viel des in den Gichtgasen enthaltenen Kohlenoxyds diesem Vorgange entstammt, und wieviel vor den Formen durch den Gebläsewind gebildet wurde, läſst sich berechnen, wenn jene Unterlagen bekannt sind.

Für die Ausführung der Berechnung ist es erforderlich, daſs die Zusammensetzung der Gichtgase in Gewichtsteilen statt, wie sonst üblich, in Raumteilen angegeben werde. Eine Umrechnung einer nach Raumteilen ausgeführten Analyse in Gewichtsteile ist unschwer zu bewirken.

Beispiel der Rechnung[1]. In dem mit Holzkohlen betriebenen Hochofen Nr. 2 zu Vordernberg wurde weiſses, für den Puddelbetrieb bestimmtes Roheisen dargestellt, und der Verbrauch an Schmelzstoffen zur Darstellung von 100 kg Roheisen betrug durchschnittlich:

Erz	212,69 kg
Zuschlagtonschiefer . .	13,90 „
Holzkohle	74,00 „

Die Erze wurden zu etwa ein Drittel im ungerösteten, zu zwei Dritteln im gerösteten Zustande verwendet, und die Zusammensetzung des Erzgemisches (Möllers) ohne den Zuschlagtonschiefer war folgende:

	in Hundertteilen:		in der zur Darstellung von 100 kg Roheisen erforderlichen Erzmenge (212,69 kg):	
Fe_2O_3	54,93 v. H.		116,82 kg	
FeO	8,48 „		18,04 „	
CaO	9,58 „		20,37 „	
Mn_3O_4	4,97 „		10,57 „	
Al_2O_3	3,00 „		6,38 „	
MgO	1,83 „		3,89 „	
SiO_2	4,92 „		10,46 „	
H_2O	4,48 „		9,52 „	
CO_2	7,81 „	(mit 2,13 v. H. C)	16,64 „	(mit 4,54 kg C)
	100,00 v. H.		212,69 kg.	

Zusammensetzung des Zuschlagtonschiefers

	in Hundertteilen:	in der zur Darstellung von 100 kg Roheisen erforderlichen Menge (13,90 kg):
SiO_2	78,38 v. H.	10,90 kg
Al_2O_3	13,99 „	1,95 „
CaO	0,53 „	0,07 „
Fe_2O_3	3,90 „	0;54 „
H_2O	3,20 „	0,44 „
	100,00 v. H.	13,90 kg.

[1]) Nach F. Fridérici, Österr. Zeitschr. für Berg- u. Hüttenwesen 1882, S. 2.

Zusammensetzung der Holzkohlen

	in Hundertteilen:		in der zur Darstellung von 100 kg Roheisen erforderlichen Menge (74 kg):	
C	85,10 v. H.		62,97 kg	
CO_2	3,26 „	(mit 0,89 v. H. C)	2,41 „	(mit 0,66 kg C)
CO	1,36 „	(„ 0,58 „ C)	1,00 „	(„ 0,43 „ C)
CH_4	0,70 „	(„ 0,52 „ C)	0,52 „	(„ 0,38 „ C)
H	0,07 „		0,05 „	
N	0,51 „		0,39 „	
H_2O	7,00 „		5,18 „	
Asche	2,00 „		1,48 „	
	100,00 v. H.		74,00 kg	

Eine Zusammenstellung der sämtlichen dem Hochofen für 100 kg dargestellten Roheisens zugeführten Körper ergibt also:

Fe_2O_3 aus den Erzen	116,82 kg	
„ „ „ dem Tonschiefer	0,54 „	
	117,36 kg	mit 82,15 kg Fe, 35,21 kg O
FeO aus den Erzen	18,04 kg	„ 14,03 „ „ 4,01 „ O
		96,18 kg Fe, 39,22 kg O
SiO_2 aus den Erzen	10,46 kg	
„ „ dem Tonschiefer	10,90 „	
	21,36 kg	mit 9,98 kg Si, 11,38 kg O
Al_2O_3 aus den Erzen	6,38 kg	
„ „ „ dem Tonschiefer	1,95 „	
	8,33 kg	
CaO aus den Erzen	20,37 kg	
„ „ „ dem Tonschiefer	0,07 „	
	20,44 kg	
MgO aus den Erzen	3,89 kg	
Mn_3O_4 aus den Erzen	10,57 „	mit 7,62 kg Mn, 2,95 kg O
Alkalien aus den Holzkohlen	1,48 kg[1])	
H_2O aus den Erzen	9,52 kg	
„ „ „ dem Tonschiefer	0,44 „	
„ „ „ der Holzkohle	5,18 „	
	15,14 kg	
CO_2 aus den Erzen	16,64 kg	mit 4,54 kg C
„ „ der Holzkohle	2,41 „	„ 0,66 „ C
	19,05 kg	mit 5,20 kg C, 13,85 kg O
CO aus der Holzkohle	1,00 kg	mit 0,43 „ C, 0,57 „ O
CH_4 „ „ „	0,52 „	„ 0,38 „ C
C „ „ „		62,97 „ C
		68,98 kg C
H aus den Holzkohlen	0,05 kg	
N „ „ „	0,39 „	

Diese sämtlichen Körper müssen sich in dem Roheisen, der Schlacke und den Gichtgasen wiederfinden.

---

[1]) Bei der Geringfügigkeit des Aschengehalts ist dieser vollständig als Alkalien in Rechnung gestellt, während die Holzkohlenasche in Wirklichkeit neben den Alkalien Kohlendioxyd und kleine Mengen anderer Körper enthält.

Das Roheisen enthielt:

C . .	3,122	
Si . .	0,152	(entstanden aus der Reduktion von 0,33 kg SiO_2)
Mn .	2,220	(entstanden aus der Reduktion von 3,08 kg Mn_3O_4)
Fe . .	94,506	
	100,000	

In die Schlacke gehen demnach folgende Bestandteile:

	Insgesamt für 100 kg Roheisen		in Hundertteilen:
FeO . . .	2,14 kg	(metallisches Eisen 96,18—94,506 = 1,67 kg nebst 0,47 kg O)	3,32
MnO . .	7,07 „	(10,57 — 3,08 = 7,49 kg Mn_3O_4 entsprechen 7,07 kg MnO mit 1,59 kg O	10,96
SiO_2 . . .	21,08 „	mit 11,21 kg O	32,76
Al_2O_3 . .	8,33 „	. . . .	12,92
CaO . . .	20,44 „	. . . .	31,75
MgO . . .	3,89 „	. . . .	6,04
Alkalien .	1,48 „	. . . .	2,29
	64,38 kg		100,00

Die berechnete Zusammensetzung der Schlacke und das Verhältnis der Schlackenmenge zum Roheisen (64,38 : 100) wurde durch Analyse und durch Wägen der erforderlichen Schlacke geprüft und als gut übereinstimmend mit der Wirklichkeit befunden.

Die Untersuchung der Gichtgase ergab in Gewichtsteilen (unter Vernachlässigung des Wassergehalts):

CO_2	22,37 v. H.	mit	6,10 v. H. C
CO	23,84 „	„	10,22 „ „
CH_4	0,37 „	„	0,28 „ „
H	0,09 „		
N	53,33 „		
	100,00 v. H.	mit	16,60 v. H. C.

Da für 100 kg darzustellenden Roheisens der Hochofen insgesamt 68,98 kg Kohlenstoff erhält (aus der Holzkohle und dem Kohlendioxydgehalt der Erze), von diesem aber der mitgeteilten Roheisenzusammensetzung zufolge 3,122 kg durch das Roheisen aufgenommen werden, finden sich in den Gasen 68,98 — 3,122 = 65,858 kg Kohlenstoff wieder, und die Menge der Gichtgase für je 100 kg Roheisen beträgt demnach:

CO_2 . . .	88,76 kg	mit 24,22 kg C,	64,54 kg O,	— kg H,	— kg N
CO . . .	94,58 „	„ 40,54 „ „	54,04 „ „	— „ „	— „ „
CH_4 . . .	1,46 „	„ 1,09 „ „	— „ „	0,37 „ „	— „ „
H	0,35 „	„ — „ „	— „ „	0,35 „ „	— „ „
N	211,58 „	„ — „ „	— „ „	— „ „	211,58 „ „
	396,73 kg	mit 65,85 kg C,	118,58 kg O,	0,72 kg H,	211,58 kg N.

Von dem Kohlendioxydgehalte dieser Gase entstammten, wie oben nachgewiesen wurde, 19,05 kg aus der Beschickung; 88,76 — 19,05 = 69,71 kg gingen mithin aus der Reduktion der Erze durch Kohlenoxyd hervor, und hierbei wurden $^4/_{11} \times 69{,}71 = 25{,}35$ kg Sauerstoff den Erzen entzogen. Die Gesamtmenge des Sauerstoffs, welche bei der Reduktion den Erzen entzogen wurde, betrug aber:

an Eisen gebundener Sauerstoff 39,22 — 0,47 . . .	38,75 kg
an Mangan gebundener Sauerstoff 2,95 — 1,59 . .	1,36 „
an Silicium gebundener Sauerstoff 11,38 — 11,21 .	0,17 „
	40,28 kg.

Den reduzierten Körpern wurde demnach von ihrem gesamten ursprünglichen Sauerstoffgehalte

durch Kohlenoxyd	25,35 kg	oder 62 v. H.
„ Kohlenstoff	14,93 „	„ 38 „
	40,28 kg	oder 100 v. H.

entzogen. Der durch Kohlenoxyd entzogene Sauerstoff findet sich im Kohlendioxyd, der durch Kohlenstoff entzogene im Kohlenoxyd der Gichtgase wieder. Wurde Kohlendioxyd, welches durch Einwirkung von Kohlenoxyd auf Erze entstanden war, durch Vergasung eines zweiten Atoms Kohlenstoff wieder in Kohlenoxyd umgewandelt, so ist das schliefsliche Ergebnis des Vorgangs das gleiche, als wenn von vornherein durch Einwirkung von Kohlenstoff auf Erze Kohlenoxyd gebildet worden wäre.

In derselben Weise kann man sich über das Verhalten der übrigen Körper Rechenschaft geben.

Der gesamte Sauerstoffgehalt der Gichtgase beträgt

für je 100 kg Roheisen . . . . 118,58 kg.

Hiervon entstammen

dem Reduktionsvorgange	40,28 kg	
dem Kohlensäuregehalte der Erze und Holzkohlen	13,85 „	
dem Kohlenoxydgehalte der Holzkohlen . .	0,57 „	
		54,70 „
Mithin sind durch den Gebläsewind zugeführt .		63,88 kg,

wobei allerdings der aus der Feuchtigkeit des Gebläsewindes stammende Sauerstoffgehalt unberücksichtigt geblieben ist[1]).

Jene 63,88 kg Sauerstoff entsprechen $\frac{63,88}{23} 100 = 277,7$ kg oder 215,2 cbm atmosphärischer Luft für je 100 kg Roheisen. Die Menge des in 24 Stunden erzeugten Roheisens betrug 15000 kg, also in der Minute 10,4 kg; mithin Windmenge in der Minute $\frac{10,4 \times 215,2}{100} = 22,4$ cbm.

Ein annähernd gleiches Ergebnis ergibt die Berechnung aus dem Stickstoffgehalte der Gichtgase. Sie enthalten für je 100 kg dargestellten Roheisens 211,58 kg oder 169,2 cbm Stickstoff, welche $\frac{169,2}{79} 100 = 214,2$ cbm atmosphärischer Luft entsprechen; mithin Windmenge in der Minute $\frac{10,4 \times 214,2}{100} = 22,2$ cbm.

1) Derselbe läfst sich aus dem Wasserstoffgehalte der Gichtgase nach Abzug des aus den Brennstoffen stammenden Wasserstoffgehalts ermitteln.

Der Gesamt-Wasserstoffgehalt der Gichtgase beträgt

für je 100 kg Roheisen . . . . 0,72 kg.

Davon stammen

aus dem CH_4 der Holzkohlen . . .	0,14 kg	
„ „ H „ „ . . .	0,05 „	
		0,19 „
mithin bleibt für die Feuchtigkeit der Gebläseluft		0,53 kg H

entsprechend 4,77 kg H_2O.

Eine Berechnung der Windmenge aus Düsenquerschnitt und Windspannung nach den Hauerschen Tabellen ergab in dem vorliegenden Falle 23 cbm in der Minute.

Auf Grund der für derartige Berechnungen erforderlichen Ermittelungen ist man nun auch imstande, eine Wärmebilanz des Hochofens aufzustellen.

Der Hochofen empfängt Wärme oder den Brennstoff zu ihrer Erzeugung; er verbraucht die empfangene und erzeugte Wärme für die Verdampfung des Wassergehalts der Beschickung, Zerlegung der Hydroxyde und Carbonate, Reduktion der Sauerstoffverbindungen, Schmelzung des Roheisens und der Schlacke, und ein Teil der Wärme geht mit den austretenden Gichtgasen, dem Kühlwasser und durch Abgabe an die umgebende Luft verloren.

Durch Gegenüberstellung der Wärmeeinnahme und Wärmeausgabe, deren Gesamtbeträge sich decken müssen, erhält man die Wärmebilanz.

Die Aufstellung einer solchen Wärmebilanz zu verschiedenen Zeiten und unter verschiedenen Betriebsverhältnissen besitzt nicht allein wissenschaftliche Bedeutung. Wie der Geschäftsmann über den Stand seines Geschäftes, über die Ursachen, welche Mindererträge oder Verluste in dem einen Falle, reichere Erträge in dem anderen Falle herbeiführten, erst einen klaren Überblick erhält, indem er die stattgehabten Einnahmen und Ausgaben entsprechend geordnet in der Bilanz einander gegenüberstellt und nun die Beträge vergleicht, welche jene Einnahmen und Ausgaben unter verschiedenen Verhältnissen erreichten, so erhält auch der Hochofenmann durch die Wärmebilanz seines Hochofens erst ziffernmäfsige Belege für die Ursachen der Abweichungen in dem Brennstoffverbrauche zu verschiedenen Zeiten oder unter verschiedenen Verhältnissen. Die Wärmebilanz zeigt ihm in solcher Weise den Weg, ungünstig wirkende Einflüsse zu beseitigen, oder bewahrt in anderen Fällen vor erfolglosen Versuchen.

Für die Anfertigung der Wärmebilanz ist eine Ermittelung der Zwischenvorgänge im Hochofen, bei welchen Wärme erzeugt oder verbraucht wird, ebensowenig erforderlich wie für die oben erläuterte Berechnung des Schmelzganges. 1 kg Kohlenstoff gibt in allen Fällen bei der Verbrennung zu Kohlenoxyd als Enderzeugnis die nämliche Wärmemenge, gleichviel, ob er sofort vollständig zu Kohlenoxyd verbrannt wurde, oder ob erst die Hälfte davon Kohlendioxyd bildete, welches dann unter Umwandlung in Kohlenoxyd die zweite Hälfte der Kohle vergaste. 1 kg Eisenoxyd bedarf, um zu metallischem Eisen reduziert zu werden, in allen Fällen dieselbe Wärmemenge, gleichviel, ob die Reduktion sofort vollständig oder erst unter Bildung von Zwischenstufen vor sich ging, gleichviel auch, ob sie durch Kohlenoxyd oder durch feste Kohle erfolgte; denn der Unterschied in dem Wärmeverbrauche bei Reduktion durch Kohlenoxyd oder Kohlenstoff liegt allein in dem Umstande, dafs bei ersterer Kohlendioxyd, bei letzterer Kohlenoxyd aus der Verbrennung des Reduktionsmittels hervorgeht. Daher genügt, wie erwähnt, die Zusammensetzung der Rohstoffe und der Enderzeugnisse des Hochofenschmelzens.

Da aber in den meisten Fällen der Wasserstoff- und Kohlenwasserstoffgehalt der Gichtgase für die Aufstellung der Wärmebildung wenig oder gar nicht in Betracht kommen, ist eine vollständige Untersuchung der Gichtgase nicht einmal hierfür erforderlich; es genügt — worauf Gruner zuerst aufmerksam machte[1] —, das Verhältnis $\frac{CO_2}{CO}$ in den Gichtgasen zu kennen, um die übrigen erforderlichen Ziffern daraus abzuleiten. Man weifs, wie viel Brennstoff und wie viel Beschickung zur Darstellung von 1 kg Roheisen verbraucht wurden; weifs ferner aus der Zusammensetzung dieser Körper, wie viel Kohlenstoff durch sie dem Ofen zugeführt wurde; endlich, wie viel dieses Kohlenstoffs von dem erzeugten Roheisen aufgenommen wurde. Aller übrige Kohlenstoff mufs in den Gichtgasen sich wiederfinden. Sein Gewicht (für je 1 kg Roheisen) sei $= p$, das Gewicht des in den Gichtgasen für je 1 kg erzeugten Roheisens enthaltenen Kohlenoxyds $= y$, das durch Analyse ermittelte Verhältnis $\frac{CO_2}{CO} = m$ (also das Gewicht des Kohlendioxyds $= my$), so ergeben sich folgende Beziehungen:

$$p = \frac{3}{7} y + \frac{3}{11} my,$$

$$y = \frac{77 p}{33 + 21 m}.$$

Man erhält hierdurch das Gewicht des in den Gichtgasen enthaltenen Kohlenoxyds und Kohlendioxyds für je 1 kg erzeugten Roheisens und ist mit Hilfe dieser Ziffern befähigt, die Wärmebilanz aufzustellen.

Erstes Beispiel. Bei dem Holzkohlenhochofen zu Vordernberg, dessen Betriebsverhältnisse zum grofsen Teil schon oben mitgeteilt wurden, stellt sich die Wärmebilanz folgendermafsen:

1. Wärmeeinnahme.

a) Durch Verbrennung von Kohlenstoff. Der verbrannte Kohlenstoff — gleichviel ob er durch atmosphärischen Sauerstoff oder durch den Sauerstoff der Erze verbrannt wurde — findet sich in den Gichtgasen teils als CO_2, teils als CO. Wie durch die früher angestellte Berechnung nachgewiesen wurde, enthielten die Gichtgase für je 1 kg[2] dargestellten Roheisens 0,8876 kg Kohlendioxyd, von welchem 0,1905 kg unmittelbar aus der Beschickung stammte; für die Verbrennung der Kohle hinterbleibt 0,6971 kg Kohlendioxyd, entsprechend 0,1901 kg Kohlenstoff.

Der Kohlenoxydgehalt der Gichtgase für je 1 kg dargestellten Roheisens betrug 0,9458 kg, wovon 0,01 kg der Holzkohle entstammten; durch Verbrennung von Kohle entstanden also 0,9358 kg Kohlenoxyd, entsprechend 0,4011 kg Kohlenstoff.

Daher lieferte der verbrennende Kohlenstoff Wärme:

0,1901 kg zu Kohlendioxyd verbrennend, für je 1 kg	8080 W.-E.	1536 W.-E.
0,4011 „ „ Kohlenoxyd „ „ „ 1 „	2470 „	991 „
		2527 W.-E.

[1]) Annales des mines, Reihe 7, Band II, S. 18; Gruner-Steffen, Analytische Studien über den Hochofen, S. 15. Vergleiche auch Osanns unter Literatur genannte Abhandlungen.

[2]) Zur Vermeidung allzu grofser Ziffern ist die Wärmebilanz auf 1 kg Roheisen bezogen, während die frühere Berechnung die Darstellung von 100 kg Roheisen betraf. Eine Teilung jener früheren Ziffern durch 100 gibt die für die vorliegende Rechnung entfallenden Werte.

b) Durch den erhitzten Wind. Die durch Messung gefundene Temperatur des Windes war 300° C., die Menge für 1 kg erzeugten Roheisens, wie oben berechnet, 2,777 kg, die spezifische Wärme beträgt 0,237; mithin ist die von dem Winde mitgebrachte Wärme $2{,}777 \times 0{,}237 \times 300 = 198$ W.-E. Hierbei ist der Feuchtigkeitsgehalt des Windes aufser acht gelassen; die hieraus entstehende Abweichung ist jedoch unwesentlich.

2. Wärmeausgabe.

a) Zur Reduktion.

0,8215 kg Fe aus Fe_2O_3 reduziert erforderten $0{,}8215 \times 1800$[1])	1479 W.-E.
$0{,}1403 - 0{,}0167 = 0{,}1236$ kg Fe aus FeO reduziert erforderten $0{,}1236 \times 1350$	167 „
0,0222 kg Mn aus Mn_3O_4 reduziert erforderten $0{,}0222 \times 1970$	44 „
0,0015 kg Si aus SiO_2 reduziert erforderten $0{,}0015 \times 7830$.	12 „
	1702 W.-E.

b) Von 1 kg Roheisen mitgenommene Wärme[2]) . . . . 265 „

c) Von der Schlacke mitgenommene Wärme. Die Menge der erfolgenden Schlacke betrug auf 1 kg Roheisen 0,6488 kg; also mitgenommene Wärme, sofern man die von 1 kg Schlacke mitgenommene Wärme zu 450 W.-E. annimmt[3]), $0{,}6488 \times 450$ . . . . 260 „

d) Durch die Gichtgase mitgenommene Wärme. Die Menge der Gichtgase für je 1 kg Roheisen ist 3,967 kg; ihre durch Messung gefundene Temperatur war 173° C.; ihre spezifische Wärme durchschnittlich 0,237 (für sehr genaue Rechnungen würde man die von den einzelnen Bestandteilen mitgeführte Wärme getrennt berechnen müssen). Gesamte mitgenommene Wärme $3{,}967 \times 173 \times 0{,}237$ . . . 188 „

e) Zur Verdampfung des Wassergehalts und Erhitzung des Wasserdampfes auf die Temperatur der Gichtgase erforderliche Wärme. Der Wassergehalt der Beschickung und der Kohlen ist als Feuchtigkeit zugegen und beträgt für ein 1 kg Roheisen 0,1514 kg Bei einer Durchschnittstemperatur der aufgegebenen Schmelzstoffe von 7° C. mufste dieser Wassergehalt um 93° C. erhitzt und dann verdampft werden; die hierzu erforderliche Wärme[4]) ist $(93 + 536)\ 0{,}1514$ 95
Hierzu kommt die zur Höhererhitzung des Wasserdampfes erforderliche Wärme (spezifische Wärme des Wasserdampfes $= 0{,}48$): $0{,}1514 \times 73 \times 0{,}48$ 5

100 „

f) Zur Zerlegung der Carbonate erforderliche Wärme. Aus den Erzen wurden für je 1 kg Roheisen 0,1664 kg Kohlendioxyd ausgetrieben[5]); also Wärmeverbrauch $0{,}1664 \times 1016$ . . . . 170 „

---

[1]) S 57 I.

[2]) Die Wärme läfst sich bei jedem einzelnen Versuche durch Eingiefsen einer gewissen Menge des flüssigen Roheisens in Wasser besonders ermitteln. Hier genügen Durchschnittsziffern. Gruner fand bei grauem Roheisen 280 bis 285 W.-E., bei weifsem Roheisen 260 bis 265 W.-E. (Gruner-Steffen, Analytische Studien über den Hochofen, S. 129.)

[3]) Gruner fand für 1 kg Schlacke bei Weifseisendarstellung 450 W.-E., bei Graueisendarstellung 500 W.-E.

[4]) Verdampfungswärme des Wassers = 536 W.-E.

[5]) Da die Erze geröstet waren und das Eisencarbonat hierbei leichter als das Calciumcarbonat seine Kohlensäure abgibt, läfst sich annehmen, dafs nur letzteres vorhanden war. Nach Fufsanmerkung 3 auf S. 252 I gebraucht 1 kg $CaCO_3$ (mit 0,44 kg CO_2) zur Zerlegung 447 W.-E.; demnach sind zur Austreibung von 1 kg CO_2 1016 W.-E. erforderlich.

g) Zur Erwärmung des Kühlwassers der Formen verbrauchte Wärme. 4 Formen gebrauchten in der Minute 6 l Wasser, dessen Temperatur um 13° C. stieg; und da in der Minute 10,4 kg Roheisen erzeugt wurden, so entfallen auf 1 kg Roheisen 0,58 l Wasser; also Wärmeverbrauch $0{,}58 \times 13$ . . . . 7 W.-E.

Wärmebilanz.

Einnahme.	W.-E.	Ausgabe.	W.-E.
a) Durch Verbrennung von Kohle	2527	a) Zur Reduktion	1702
b) Durch den erhitzten Wind . .	198	b) Von dem Roheisen mitgenommen	265
		c) Von der Schlacke mitgenommen	260
		d) Durch die Gichtgase mitgenommen	188
		e) Zur Verdampfung und Überhitzung des Wassers . . .	100
		f) Zur Zerlegung der Carbonate .	170
		g) Zur Erwärmung des Kühlwassers	7
		h) Durch Wärmeabgabe der Wände nach aufsen (als Restbetrag) .	33
	2725		2725

Zweites Beispiel. In einem mit Koks betriebenen Hochofen zu Ormesby von 23,2 m Höhe, 584 cbm Inhalt wurden in 24 Stunden 63000 kg grauen Roheisens erzeugt[1]). Zur Darstellung von 1 kg Roheisen waren erforderlich:

1,10 kg Koks mit 92,5 v. H. Kohle; also Verbrauch an Kohlenstoff für 1 kg Roheisen 1,017 kg.

2,44 „ Erz (gerösteter Blackband, dessen Eisengehalt bei der Röstung in Fe_2O_3 übergegangen war).

0,625 „ Kalkstein mit 43 v. H. Kohlendioxyd, enthaltend 0,073 kg Kohlenstoff, 0,197 kg Sauerstoff; also verflüchtigtes Kohlendioxyd für 1 kg Roheisen 0,27 kg.

Die Menge der mit 1 kg Roheisen erfolgenden Schlacke betrug 1,48 kg.
Windtemperatur 780° C.
Gichttemperatur 412° C.
Verhältnis $\frac{CO_2}{CO} = m = 0{,}542$.

Die durchschnittliche Zusammensetzung des erzeugten Roheisens, welche in der genannten Quelle nicht mitgeteilt ist, kann, der gewöhnlichen Zusammensetzung des Clevelandroheisens entsprechend, folgendermafsen angenommen werden:

C	3,4 v. H.
Si	1,2 „
Mn	0,5 „
P	1,3 „
Fe	93,6 „
	100,0 v. H.

[1]) Die Betriebsangaben sind teils Gruners mehrfach erwähnter Abhandlung (Annales des mines, Reihe 7, Band 2, S. 52), teils den Mitteilungen von L Bell (Bell-Tunner, Entwicklung und Verwendung der Wärme in den Eisenhochöfen) entnommen. Obgleich die Ziffern grofsenteils nur Annäherungswerte darstellen, sind sie doch ausreichend zur Erreichung des Zweckes: den Wärmeverbrauch in einem grofsen, mit Koks und einer an schlackenbildenden Körpern reichen Beschickung auf graues Roheisen betriebenen Hochofen dem Wärmeverbrauche eines kleinen mit Holzkohlen auf weifses Roheisen betriebenen Hochofens gegenüberzustellen.

Der Hochofen erhielt für 1 kg dargestellten Roheisens Kohlenstoff:

aus den Koks	1,017 kg
„ dem Kalkstein	0,073 „
	1,090 kg
Von dem Roheisen aufgenommene Kohle	0,034 „
mithin in den Gichtgasen enthalten	1,056 kg

Die Menge des Kohlenoxyds in den Gichtgasen für 1 kg Roheisen ist also

$$y = \frac{77 \times 1{,}056}{33 + (21 \times 0{,}542)} \ldots\ldots 1{,}831 \text{ kg}$$

Kohlendioxyd in den Gichtgasen $my = 0{,}542 \times 1{,}831 =$ . . . 0,992 „

Hieraus wird in folgender Weise die Gesamtmenge der Gichtgase und das Gewicht des dem Ofen zugeführten Gebläsewindes abgeleitet.

Der gesamte Sauerstoffgehalt der Gichtgase beträgt:

Sauerstoff in 1,831 kg CO	1,046 kg
„ „ 0,992 „ CO_2	0,721 „
	1,767 kg

Hiervon entstammte der Beschickung:

aus dem Kohlendioxyd des Kalksteines	0,197 kg	
„ der Reduktion von 1,337 kg Fe_2O_3 zu 0,936 kg Fe	0,401 „	
„ „ „ „ 0,025 „ SiO_2 „ 0,012 „ Si	0,013 „	
„ „ „ „ 0,007 „ MnO „ 0,005 „ Mn	0,002 „	
„ „ „ „ 0,029 „ P_2O_5 „ 0,013 „ P	0,016 „	
		0,629 kg
mithin durch den Gebläsewind zugeführt		1,138 kg

Diese 1,138 kg Sauerstoff führten Stickstoff in den Ofen $\frac{77}{23} \times 1{,}138 = 3{,}810$ kg, also

Gewicht des trockenen Gebläsewindes für je 1 kg Roheisen
1,138 + 3,810 . . . . 4,948 „

Gewicht der trockenen Gichtgase für je 1 kg Roheisen:

CO	1,831
CO_2	0,992
N	3,810
	. . . . . . 6,633 „

1. Wärmeeinnahme.

a) Durch Verbrennung von Kohlenstoff. Die Gichtgase enthalten für 1 kg Roheisen 0,992 kg CO_2; hiervon entstammen 0,270 kg der Beschickung, mithin sind 0,722 kg durch Verbrennung von Kohle erzeugt. 0,722 kg CO_2 entsprechen 0,197 kg Kohle. Im ganzen ist Kohlenstoff verbrannt 1,017 — 0,034 = 0,983 kg; hiervon ab jene 0,197 kg, welche zu CO_2 verbrannten, gibt 0,786 kg für die Verbrennung zu CO.

Als Wärmeerzeugung:

durch Verbrennung zu CO_2 0,197 × 8080	1592 W.-E.
„ „ „ CO 0,786 × 2470	1941 „
	3533 W.-E.

b) Durch den erhitzten Wind. 4,948 kg auf 780° C. erhitzter Wind führte Wärme in den Ofen 4,948 × 780 × 0,237 . . . . . . 914 „

2. Wärmeausgabe.

a) Zur Reduktion.

0,936 kg Fe aus Fe_2O_3 reduziert 0,936 × 1800	1684 W.-E.
0,012 „ Si aus SiO_2 reduziert 0,012 × 7830	94 „
0,005 „ Mn aus MnO reduziert 0,005 × 1730	9 „
0,013 „ P aus P_2O_5 reduziert 0,013 × 5900	77 „
	1864 W.-E.

b) *Von dem grauen Roheisen mitgenommene Wärme* (Fufsanmerkung 2 auf S. 258) . . . . 280 W.-E.

c) *Von der Schlacke mitgenommene Wärme.* Die Menge der Schlacke betrug 1,48 kg; ihre mitgenommene Wärme in 1 kg 500 W.-E. (Fufsanmerkung 3 auf S. 258); also Gesamtwärme $1{,}48 \times 500$ . . 740 „

d) *Durch die Gichtgase mitgenommene Wärme* $6{,}633 \times 412 \times 0{,}237$ 647 „

e) *Zur Verdampfung und Überhitzung des Wassergehalts der Beschickung.* Der Feuchtigkeitsgehalt der Erze ist nicht angegeben, dürfte aber auf 4 v. H. des Erzgewichts zu schätzen sein; Feuchtigkeit der Koks 2½ v. H. Also wurde Wasser verdampft

aus 2,44 kg Erz . . .	0,097 kg	
„ 1,10 „ Koks . . .	0,028 „	
	0,125 kg	
Verdampfungswärme 0,125 (90 + 536)	78 W.-E.	
Für die Überhitzung auf 412° C.: $312 \times 0{,}125 \times 0{,}48$	18 „	
		96 W.-E.

f) *Zur Zersetzung des Kalksteines*, d. h. Austreibung von 0,27 kg CO_2: $0{,}27 \times 1016$ . . . . 274 „

Wärmebilanz.

Einnahme.	W.-E.	Ausgabe.	W.-E.
a) Durch Verbrennung von Kohle	3533	a) Zur Reduktion	1864
b) Durch den erhitzten Wind . .	914	b) Von dem Roheisen mitgenommen	280
		c) Von der Schlacke mitgenommen	740
		d) Durch die Gichtgase mitgenommen	647
		e) Zur Verdampfung und Überhitzung des Wassers . . .	96
		f) Zur Zerlegung des Kalksteines	274
		g) Durch Wärmeabgabe der Wände und durch das Kühlwasser (als Restbetrag)	546
	4447		4447

In dem mit Koks auf graues Roheisen betriebenen Hochofen sind fast sämtliche Angaben höher, und die Erklärung dafür läfst sich in den Verschiedenheiten der Betriebsverhältnisse finden.

Der Wärmeverbrauch für die Reduktion ist höher, weil die Reduktion des in dem grauen Roheisen enthaltenen Siliciums, Mangans und Phosphors gröfsere Wärmemengen verbraucht. Die von dem gebildeten Roheisen aus dem Hochofen mitgenommene Wärme aber ist bei grauem Roheisen ohnehin beträchtlicher als bei Weifseisen, wenn auch der Unterschied nicht sehr ins Gewicht fällt.

Ein gröfserer Unterschied zeigt sich bei der von den Schlacken mitgenommenen Wärme, welche bei der Graueisendarstellung mit Koks fast dreimal so hoch sich beziffert als bei der Weifseisendarstellung. Der Grund liegt in dem Umstande, dafs die Clevelanderze und die Koksasche nicht allein an und für sich schon mehr schlackengebende Bestandteile enthalten als die Erze und die Holzkohlenasche des Vordernberger Ofens, sondern auch einer noch gröfseren Menge Zuschläge bedürfen, damit die für Graueisen-

darstellung erforderliche basische Beschaffenheit der Schlacke entstehe. Die Schlackenmenge bei der Graueisendarstellung ist also mehr als doppelt so grofs als in dem anderen Hochofen; jedes Kilogramm Schlacke bei dem ersteren Betriebe nimmt aber auch mehr Wärme aus dem Ofen mit fort als bei dem letzteren.

Ähnlich ist der Unterschied bei der durch die Gichtgase entführten Wärme. Zur Deckung des Wärmeverbrauches für Reduktion und Schlackenschmelzen erfordert der auf graues Roheisen betriebene Kokshochofen eine gröfsere Wärmemenge als der andere, welche durch erhöhten Brennstoffverbrauch erzeugt wird. Die Menge der Gichtgase und somit auch die von ihnen mitgenommene Wärmemenge ist demnach gröfser.

Die gröfsere Menge des Kohlendioxyds in der Beschickung des auf graues Roheisen betriebenen Hochofens erfordert auch eine gröfsere Wärmemenge zur Austreibung.

Der Unterschied in dem Wärmeverbrauche für Kühlwasser und Ausstrahlung erklärt sich zum Teil aus der geringeren Leistung des Kokshochofens, bezogen auf den gleichen räumlichen Inhalt. Der Kokshochofen liefert bei einem Rauminhalte von 584 cbm täglich 63000 kg Roheisen, für 1 cbm also 108 kg; der Holzkohlenhochofen zu Vordernberg liefert bei 31,9 cbm Inhalt täglich 15000 kg oder für 1 cbm 470 kg Roheisen, d. i. mehr als viermal so viel als jener. Hierzu kommt aber noch der Umstand, dafs die Temperatur in dem mit Koks auf graues Roheisen betriebenen Hochofen höher ist und notwendigerweise höher sein mufs als in dem anderen Ofen; die Ofenwände werden stärker erhitzt, bedürfen einer ausgedehnteren Kühlung, geben reichlichere Wärmemengen ab, und der Wärmeverbrauch fällt höher aus.

6. Die Betriebsergebnisse.

Auf Grundlage der täglichen Nachweise über den Verbrauch an Erzen, Zuschlägen, Brennstoffen und über den Erfolg an Roheisen wird das Schmelzbuch geführt, welches in übersichtlicher Weise nebeneinander den stattgehabten Verbrauch sowie die Roheisenerzeugung erkennen läfst; und zwar zunächst in täglichen Summen, aus denen sich alsdann die Summen für die Woche, den Monat usw. ergeben. Neben dieser Abrechnung pflegt das Schmelzbuch tägliche Anmerkungen über Pressung und Temperatur des Windes, Beschaffenheit des erfolgten Roheisens und über alle jene Vorkommnisse zu enthalten, deren Kenntnis von Belang für die Beurteilung des Hochofenganges ist. Auf diese Weise bildet ein mit Sorgfalt geführtes Schmelzbuch eine Chronik des Hochofenbetriebes, lehrreich für den, welcher sie mit Aufmerksamkeit benutzt.

In bestimmten Zeitabschnitten, häufig allwöchentlich, jedenfalls monatlich und der Regel nach auch am Jahresschlusse, berechnet man aus dem stattgehabten Rohstoffverbrauche und der Menge des gewonnenen Roheisens die durchschnittlichen Betriebsergebnisse. Ein Vergleich dieser Betriebsergebnisse, welche zu verschiedenen

Zeiten, unter Umständen auch bei verschiedenen Öfen, erlangt wurden, gibt einen Mafsstab für den mehr oder minder günstigen Verlauf des Hochofenbetriebes und spornt dazu an, den Ursachen nachzuforschen, welche diese Abweichungen, insbesondere die ungünstigeren Ergebnisse, hervorriefen.

Dafs übrigens Hochöfen, welche verschiedenen Rauminhalt besitzen, verschiedene Erze verhütten, verschiedene Brennstoffe benutzen, verschiedene Roheisensorten darstellen, auch sehr abweichende Betriebsergebnisse liefern können, versteht sich nach dem Gesagten über die Eigentümlichkeiten des Hochofenschmelzens von selbst. Lehrreich ist ein Vergleich der Betriebsergebnisse auch in diesen Fällen, indem er auf die Einflüsse hinweist, welche durch Rauminhalt des Ofens, Reduzierbarkeit und Eisengehalt der Erze usw. auf den Ausfall der Betriebsergebnisse ausgeübt werden.

Die wichtigsten dieser Betriebsergebnisse sind folgende:

a) Roheisenerzeugung des Hochofens in bestimmter Zeit (in einem Tage oder einer Woche). Die Erzeugungsfähigkeit der Hochöfen ist von verschiedenen Umständen abhängig. Zunächst von ihrer Gröfse. Der gröfsere Ofen kann bei Verhüttung der gleichen Erze und Darstellung des gleichen Roheisens mehr Roheisen als der kleinere liefern. Auch die Beschaffenheit der Erze ist mafsgebend. Schwerreduzierbare Erze bedürfen einer längeren Durchsetzzeit als leichtreduzierbare, und bei ihrer Verhüttung liefert der Hochofen demnach weniger Roheisen. Nicht minder wichtig ist ihr Eisengehalt. Je eisenreicher die Erze sind, desto gröfser ist die Menge der gleichzeitig in dem Ofen anwesenden Eisenoxyde, desto gröfser bei gleicher Durchsetzzeit die Eisenerzeugung. Zu dem Eisengehalte der Erze steht aber die Menge der schlackengebenden Bestandteile im umgekehrten Verhältnisse; je weniger Schlacke gebildet und geschmolzen wird, desto weniger Wärme wird für diesen Zweck verbraucht, desto mehr Eisen kann bei gleicher Wärmeentwicklung erzeugt werden.

Inwiefern die Beschaffenheit des erfolgenden Roheisens für die Erzeugungsfähigkeit des Hochofens von Einflufs ist, folgt aus dem früher Gesagten über die Eigentümlichkeiten des Hochofenschmelzens und die zu erfüllenden Bedingungen für Darstellung bestimmter Roheisengattungen. Bei Darstellung manganarmen Weifseisens (Puddelroheisens) ist die Erzeugung des Hochofens am gröfsten. Die Leistungsfähigkeit eines und desselben Hochofens bei der Darstellung verschiedener Roheisensorten verhält sich ungefähr folgendermafsen:

Gewöhnliches Weifseisen	Tiefgraues Roheisen	Grobspiegeleisen mit 10 bis 12 v. H. Mangan	Hochmangan-haltiges Spiegeleisen	Siliciumeisen mit 12 bis 15 v. H. Silicium	Eisenmangan mit 75 bis 80 v. H. Mangan
100	70	65	50	35	30

Bisweilen ist eine zu schwache Leistung des Hochofengebläses die Ursache einer im Vergleiche zu den übrigen Betriebsverhältnissen zu geringen Erzeugung des Ofens. Mit der Gröfse des Hochofens mufs nicht nur die Windmenge, sondern auch die Windspannung

wachsen, damit der eintretende Wind befähigt werde, die in dem höheren Ofen herrschenden gröfseren Widerstände zu überwinden. Ist das verfügbare Gebläse nicht imstande, diese Ansprüche zu erfüllen, so erzeugt der Hochofen weniger Roheisen, als er seiner Gröfse nach zu erzeugen befähigt sein würde. Je reichlichere Windmengen man aber einem Hochofen zuführt, desto mehr wächst die Gasspannung im Ofeninnern; bei den Hochöfen mit offener Brust steigert sich demnach auch die Schwierigkeit, zu verhüten, dafs die unter dem stärkeren Drucke stehenden Hochofengase unter dem Tümpel hinweg nach aufsen sich Bahn brechen, Brennstoffstücke und flüssige Schlacke aus dem Ofenherde herausschleudernd. Gröfsere Öfen dieser Art lassen sich deshalb überhaupt nicht mit derjenigen Windmenge und Windspannung betreiben, welche ihrem Rauminhalte am besten entsprechen würde. Bei den Hochöfen mit geschlossener Brust kann man, solange die Schlacke tiefer steht als die Schlackenform (nach dem Abstiche), letztere durch einen Tonpfropfen schliefsen, und wenn die Schlacke über die Schlackenform gestiegen ist, befördert eine höhere Gasspannung im Ofeninnern nur ihr rascheres Abfliefsen. Jene Beschränkung der Windmenge auf ein geringeres Mafs, als der Gröfse des Ofens am besten entsprechen würde, fällt deshalb hier aufser Betracht; die Hochöfen mit geschlossener Brust aber konnten allgemeinere Anwendung erst finden, nachdem Lürmann die nach ihm benannte Schlackenform eingeführt hatte. Ohne diese Erfindung würde die Erzeugungsfähigkeit der gröfseren Hochöfen weit hinter dem in der Neuzeit erreichten Mafse zurückgeblieben sein.

Mit der Gröfse der Hochöfen, mit der Vervollkommnung der Winderhitzer und des Ofenbaues ist die Erzeugungsfähigkeit der Hochöfen seit dem Beginne des neunzehnten Jahrhunderts von Jahrzehnt zu Jahrzehnt gewachsen. Während in früheren Jahrhunderten ein Hochofen in 24 Stunden oft weniger als 1 t Roheisen lieferte, gehört eine Tageserzeugung von nicht über 5 t in der Jetztzeit zu den Ausnahmen und kommt nur noch bei Holzkohlenhochöfen vor, welche für die unmittelbare Darstellung von Gufswaren betrieben werden. Die meisten Holzkohlenhochöfen erzeugen täglich 12 bis 20 t Roheisen, einzelne noch mehr. Die schwedischen Holzkohlenhochöfen lieferten während des Jahres 1897 im Durchschnitt täglich 13 t, darunter die Hochöfen von Domnarfet in Kopparberg allein 30,8 t[1]; ein Holzkohlenhochofen in Vordernberg von 113 cbm Inhalt (vergleiche oben Abb. 113) erzeugte 1897 durchschnittlich 63 t im Tage, der mit harten Holzkohlen betriebene Hinkleofen zu Ashland (Wisconsin) von 130 cbm Inhalt im Jahre 1896 täglich 120 t[2]).

Bei den mit Koks betriebenen Hochöfen mittlerer Gröfse (350 bis 450 cbm) beträgt die Tageserzeugung beim Betriebe auf gewöhnliches Weifseisen meistens 150 bis 200 t, beim Betriebe auf graues Roheisen oder Spiegeleisen 100 bis 140 t; doch kann unter

---

1) „Stahl und Eisen" 1898, S. 1055.

2) The Journal of the Iron and Steel Institute 1896 II, S. 348; auch „Stahl und Eisen" 1896, S. 351.

günstigen Verhältnissen, insbesondere bei Verhüttung reicher Beschickungen, jenes Maſs erheblich überschritten werden. Die Hochöfen zu Ilsede bei Peine, deren einer in Abb. 115 im Profile abgebildet ist, liefern schon seit Jahren bei der Verhüttung leichtreduzierbarer Bohnerze an 200 t Weiſseisen, obschon ihr Rauminhalt zum Teil weniger als 400 cbm betrug; neuere rheinisch-westfälische Hochöfen mit 400 bis 500 cbm Inhalt, welche zum groſsen Teile ausländische reiche Erze verhütten, erzeugen 250 bis 350 t. Sehr groſse Tageserzeugungen weisen auch verschiedene nordamerikanische Hochöfen auf, welche die reichen Erze vom Oberen See mit Koks verhütten. Die Öfen der Lorain Steel Company in Ohio (Abb. 120) liefern bei etwa 750 cbm Inhalt täglich im Mittel 600 t Roheisen, zwei Öfen zu Youngstown von 800 cbm Inhalt je 700 t und bisweilen darüber[1]).

b) Verhältnis der täglichen Roheisenerzeugung zum Rauminhalte. Dieses Verhältnis ist von dem Eisengehalte und der Reduzierbarkeit der Erze, der Beschaffenheit des benutzten Brennstoffs und erfolgenden Roheisens, der Windtemperatur und auch der Gröſse des Hochofens abhängig. Schon früher wurde des Umstandes gedacht, daſs bei kleinen Hochöfen das Verhältnis der Roheisenerzeugung zum Rauminhalte günstiger als bei groſsen zu sein pflege. Zum Teil aus diesem Grunde, zum Teil auch wegen der beim Holzkohlenbetriebe geringeren Menge erforderlicher Zuschläge liefern Holzkohlenhochöfen durchschnittlich mehr Roheisen im Verhältnisse zu ihrem Rauminhalte als die mit mineralischen Brennstoffen betriebenen Hochöfen. Bei dem auf voriger Seite erwähnten Hinkleofen zu Ashland beträgt die tägliche Roheisenerzeugung auf je 1 cbm Inhalt 900 kg; annähernd die gleiche Menge liefern die genannten Hochöfen zu Youngstown sowie einige andere nordamerikanische Kokshochöfen[2]). Die Mehrzahl der europäischen Kokshochöfen vermag nicht über 450 kg zu erzeugen, und bei Verarbeitung armer Beschickungen auf graues Roheisen kann die Erzeugung auf 150 bis 200 kg beschränkt bleiben.

c) Erzsatz auf die Gewichtseinheit (1000 kg) des Brennstoffs. Der Erzsatz ist gröſser bei Darstellung von manganarmem Weiſseisen als bei Spiegeleisen- oder Graueisendarstellung, übrigens auch von der Reduzierbarkeit und dem Eisengehalte der Erze, der Gröſse des Hochofens, dem Grade der Winderhitzung, der Beschaffenheit der Brennstoffe abhängig. Je ärmer an Eisen die Beschickung ist, desto höher kann der Erzsatz auf die gleiche Menge Brennstoff sein, da die Reduktion, Kohlung und Schmelzung des Eisens gröſsere Brennstoffmengen erheischt als das Schmelzen von Schlacke oder die Verflüchtigung von Wasser oder Kohlensäure (vergl. die Wärmebilanz auf S. 259 und 261). In den meisten Fällen beträgt der Erzsatz (einschlieſslich der Zuschläge) auf 1000 kg Koks 2000 bis 3000 kg, auf 1000 kg Holzkohlen 2000 bis 3500 kg. Bei Holzkohlenhochöfen, welche auf graues Roheisen betrieben werden, be-

---

[1]) „Stahl und Eisen" 1901, S 1043 und 1045; 1904, S. 624; 1905, S. 1170.

[2]) Z. B. die Hochöfen der Edgar-Thomson-Werke, welche im Mittel 1000 kg heisen täglich auf je 1 cbm Inhalt liefern („Stahl und Eisen" 1905, S. 1170).

trägt bei einem Eisengehalte der Beschickung von 33 v. H. der Erzsatz durchschnittlich 2600 kg; bei dem auf S. 264 erwähnten Hochofen zu Vordernberg, welcher aus einer reichen Beschickung (Eisengehalt der Beschickung etwa 50 v. H.) weifses Roheisen darstellt, beträgt der Erzsatz einschliefslich Zuschläge etwa 2800 kg. Bei schwedischen Holzkohlenhochöfen, deren Beschickung aus reichen und grofsenteils schwerreduzierbaren Erzen besteht, setzt man bei Weifseisendarstellung etwa 2400 kg, bei Graueisendarstellung nur etwa 2100 kg Erz auf 1000 kg Brennstoff. Ähnliche Verhältniszahlen ergeben sich bei nordamerikanischen Holzkohlenöfen.

Die mit leichtreduzierbaren Sphärosideriten auf graues Roheisen betriebenen Kokshochöfen Clevelands ermöglichen einen Erzsatz von 2700 bis 2800 kg, Luxemburger und Lothringer Hochöfen bei Weifseisendarstellung aus Minette einen Erzsatz von 2800 bis 3000 kg, rheinisch-westfälische Hochöfen bei Graueisendarstellung einen solchen von etwa 2500 kg, bei Weifseisendarstellung von 2500 bis 3000 kg.

d) Roheisenausbringen aus den Erzen und dem Möller. Die Berechnung dieses Betriebsergebnisses ist wichtig. Man erhält dadurch den Ausweis, ob das Ausbringen in verschiedenen Zeiten unverändert geblieben ist, und aufserdem mufs auch bei Beurteilung der übrigen Betriebsergebnisse das Ausbringen in Berücksichtigung gezogen werden. Die tägliche Erzeugung eines Ofens wird gröfser, der Brennstoffverbrauch für die gleiche Menge dargestellten Roheisens geringer, wenn das Ausbringen hoch, als wenn es niedrig ist. Da ein kleiner Teil des Eisengehalts der Erze verschlackt wird, das Roheisen aber neben Eisen jedenfalls Kohlenstoff, häufig Silicium, Phosphor, Mangan usw. in erheblichen Mengen enthält, kann das Ausbringen nicht genau mit dem durch die chemische Untersuchung gefundenen Eisengehalte übereinstimmen. Nur bei sehr starkem Rohgange, wobei gröfsere Eisenmengen verschlackt werden, ist das Ausbringen niedriger als der Eisengehalt. Am nächsten stimmt es mit diesem bei Darstellung gewöhnlichen manganarmen Weifseisens überein; bei Graueisendarstellung und bei Spiegeleisendarstellung ist es um einige Hundertteile höher.

Meistens beträgt das Ausbringen aus dem Möller 30 bis 45 v. H. des Möllergewichts. In einzelnen Fällen, wo die Preise der Erze und Brennstoffe billig sind, lassen sich Beschickungen mit einem Ausbringen von nicht über 25 v. H. noch mit Nutzen verhütten; in anderen Fällen — bei Verhüttung reicher Erze — ist man in der günstigen Lage, ein Ausbringen von mehr als 50 v. H. zu erzielen. Jene obenerwähnten, durch hohe Tageserzeugung ausgezeichneten Hochöfen Nordamerikas verarbeiten Beschickungen mit 50 bis 55 v. H. Ausbringen; der mit Holzkohlen betriebene Hinklehochofen zu Ashland hat sogar ein Ausbringen von 58 v. H. des Möllergewichts[1]). Da die Verhüttung mit mineralischen Brennstoffen fast immer einen gröfseren Aufwand von Zuschlägen erforderlich macht als die Verhüttung mit Holzkohlen, ist das Ausbringen aus dem Möller in dem

[1]) J. G. von Ehrenwerth, Das Berg- und Hüttenwesen auf der Weltausstellung zu Chicago. Wien 1897. S. 106.

ersten Falle meistens niedriger als in dem zweiten, selbst wenn die gleichen Erze verhüttet werden.

e) Verbrauch an Brennstoff zur Darstellung einer bestimmten Menge — gewöhnlich 1000 kg — Roheisen. Dieses Betriebsergebnis ist insbesondere vom wirtschaftlichen Standpunkte bedeutungsvoll. Mit einiger Annäherung läfst sich berechnen, welcher niedrigste Brennstoffverbrauch unter den günstigsten Verhältnissen sich ergeben würde.

In dem oberen Teile des Hochofens werden die höheren Oxydationsstufen des Eisens durch Kohlenoxyd zu Eisenoxydul reduziert; soll auch dieses durch Kohlenoxyd zu metallischem Eisen reduziert werden, so ist nach S. 310 I hierfür ein Überschufs des Reduktionsmittels erforderlich, welcher der Gleichung $FeO + 3CO = Fe + CO_2 + 2CO$ entspricht. Damit 1 Atom oder 56 Gewichtsteile Eisen reduziert werden, müssen demnach 3 Atome oder 36 Gewichtsteile Kohlenstoff durch Gebläsewind zu Kohlenoxyd verbrannt werden; für 1000 kg Eisen mithin 643 kg Kohlenstoff. Hierzu kommen etwa 40 kg Kohlenstoff, welche von den 1000 kg Eisen aufgenommen werden; also zusammen 683 kg. Reicht nun die bei der Verbrennung jener 643 kg Kohlenstoff zu Kohlenoxyd entwickelte Wärme im Vereine mit der vom Gebläsewind zugeführten Wärme aus, den Wärmebedarf des Ofens zu decken und die erforderliche Temperatur im Ofen zu entwickeln, so würden demnach 683 kg Kohlenstoff genügen, 1040 kg Roheisen zu erzeugen, mithin für 1000 kg Roheisen 657 kg Kohlenstoff erforderlich sein. Ein Mehrverbrauch an Kohlenstoff entsteht, wenn der Wärmeverbrauch des Ofens gröfser ist, als hier angenommen wurde. Der Fall ist der häufigere. Andrerseits kann unter besonders günstigen Verhältnissen auch noch eine Abminderung jenes Verbrauchs eintreten. Ist nämlich der vom Brennstoffe zu deckende Wärmeverbrauch des Ofens geringer als die Wärmemenge, welche bei der Erzeugung des als Reduktionsmittel dienenden Kohlenoxyds entwickelt und durch den Gebläsewind zugeführt wird, z. B. bei Verhüttung reicher Erze mit hocherhitztem Winde, und wird ein Teil des Eisenoxyduls durch Kohlenstoff statt durch Kohlenoxyd nach der Gleichung $FeO + C = Fe + CO$ reduziert, so ist es möglich, mit noch niedrigerem Brennstoffverbrauche, als berechnet, zu schmelzen, weil ein Überschufs des Reduktionsmittels nicht erforderlich ist; 56 Gewichtsteile Eisen erfordern nur 12 Gewichtsteile Kohlenstoff zur Reduktion, 1000 Gewichtsteile Eisen 214 kg Kohle statt der in dem oben besprochenen Falle benötigten 643 kg. Der Wärmeverbrauch bei der Reduktion durch Kohlenstoff ist aber höher als bei der Reduktion durch Kohlenoxyd (S. 312 I), während die Wärmeentwicklung im Ofen geringer ausfällt, sobald ein Teil des ihm zugeführten Kohlenstoffs nicht mehr durch freien Sauerstoff vor den Formen verbrannt, sondern sofort zur Reduktion der Erze verbraucht wird. Demnach tritt bald Ausgleich ein, wenn ein etwa vorhandener Wärmeüberschufs zur Ermöglichung einer teilweisen Reduktion der Erze durch Kohlenstoff verwendet wird. Wenn daher tatsächlich auf dem bezeichneten Wege mitunter eine Ersparung an Brennstoff erreichbar ist, so vermag sie doch ein ziem-

lich niedriges Mafs nicht zu überschreiten, da auch die stärkste Erhitzung des Windes bald nicht mehr ausreichen würde, den zunehmenden Wärmeverbrauch für die Reduktion zu decken [1]).

Bei einem schwedischen Hochofen fand Tamm [2]) einen Verbrauch an reiner Kohle von 584 kg; sofern diese Angabe zuverlässig ist, zählt das Ergebnis zu den günstigsten überhaupt erreichbaren.

Der Hochofen erhält aber nicht reine Kohle, sondern Brennstoff, welcher stets Feuchtigkeit und Asche enthält. Die im Schuppen lagernde Holzkohle enthält selten mehr als 84 v. H. Kohlenstoff; Holzkohlen, die im Freien der Einwirkung von Regen und Schnee ausgesetzt waren, und aschenreiche Koks enthalten noch weniger. Der erforderliche geringste Brennstoffbedarf zur Darstellung von 1000 kg Roheisen im Hochofen kann demnach auch unter den günstigsten Verhältnissen nicht erheblich weniger als 700 kg betragen.

Aus den früheren Darlegungen über das Hochofenschmelzen und den Wärmeverbrauch im Hochofen ergibt sich, dafs die Darstellung manganarmen und phosphorarmen Weifseisens unter allen Roheisensorten den geringsten Wärmeverbrauch erheischt, und dafs der letztere mit dem Siliciumgehalte, Phosphorgehalte und Mangangehalte des Roheisens steigt. Bei Verhüttung reicher Beschickungen oder leicht reduzierbarer Erze ist der Brennstoffverbrauch durchschnittlich niedriger als bei Verhüttung armer Beschickungen oder schwer reduzierbarer Erze, bei grofsen Öfen und Anwendung hocherhitzten Windes durchschnittlich niedrigerer als bei kleineren Öfen und kälterem Winde.

Die Erfahrung lehrt auch, dafs der Brennstoffverbrauch der Holzkohlenhochöfen durchschnittlich niedriger ist als derjenige der Kokshochöfen, welche gleiche Erze verhütten. Bei der Anwendung von Koks sind in Rücksicht auf deren Aschen- und Schwefelgehalt gröfsere Mengen von Zuschlägen erforderlich, das Verhältnis des Schlackengewichts zum Roheisengewicht ist gröfser und demnach auch der Wärmeaufwand zum Schlackenschmelzen beträchtlicher.

Bei dem mehrfach erwähnten Hochofen zu Vordernberg gebrauchte man für 1000 kg weifsen Roheisens im Mittel 750 kg, bei dem Hinkleofen für 1000 kg grauen Roheisens mit 2 v. H. Silicium 780 kg Holzkohlen. Bei kleineren Holzkohlenhochöfen, zumal solchen, welche minder reiche Beschickungen verhütten, pflegt der Brennstoffverbrauch für Weifseisendarstellung 800 bis 950 kg, für Graueisendarstellung 900 bis 1100 zu betragen.

Unter den Kokshochöfen zeichnen sich einzelne jener erwähnten grofsen amerikanischen Öfen, welche die reichen Erze des Oberen Sees verhütten, durch niedrigen Brennstoffverbrauch aus. Bei einem Ofen der Edgar Thomson Works gebraucht man für 1000 kg lichtgrauen Roheisens nicht über 800 kg, auf einigen anderen Werken

---

[1]) R. Åkerman, Om syrsatt jerns reduction med koloxid. Jernkontorets Annaler 1882; in deutscher Übersetzung in „Stahl nnd Eisen“ 1883, S. 149.

[2]) „Stahl und Eisen“ 1883, S. 159.

nicht über 850 kg Koks[1]). Auf deutschen Werken pflegt man für 1000 kg weifsen Roheisens 900 bis 950 kg, grauen Roheisens (Giefsereiroheisens) 1050 bis 1150 kg Koks zu gebrauchen; unter ungünstigen Verhältnissen noch etwas mehr.

Spiegeleisendarstellung mit Koks erfordert, sofern der Mangangehalt nicht mehr als 12 v. H. beträgt, zwar einen höheren Brennstoffverbrauch als die Darstellung gewöhnlichen Weifseisens, ohne dafs er jedoch die Höhe wie bei Darstellung tiefgrauen Roheisens erreichte. In Rheinland und Westfalen gebraucht man gewöhnlich 1000 bis 1100 kg Koks für 1000 kg Grobspiegel. Bei hochhaltigem Spiegeleisen (20 v. H. Mangan) steigt der Koksverbrauch auf 1300 bis 1500 kg, bei Darstellung von Eisenmangan mit hohem Mangangehalte bis auf 2500 kg.

Der Brennstoffverbrauch beim Betriebe von Anthracithochöfen stellt sich gewöhnlich etwas höher als bei Kokshochöfen.

f) Selbstkosten (auch Erzeugungskosten oder Gestehungskosten genannt) **des Roheisens.** Insofern von den Selbstkosten und ihrem Verhältnisse zu dem Verkaufspreise des Roheisens die Lebensfähigkeit eines Hochofenwerkes abhängt, bilden sie das wichtigste aller Betriebsergebnisse, zugleich aber auch dasjenige, dessen genaue Ermittelung am wenigsten einfach ist. Diese Selbstkosten setzen sich aus folgenden Einzelwerten zusammen:

1. Ausgabe für die Erze zur Darstellung einer bestimmten Menge (1000 kg) Roheisens.
2. Ausgabe für Zuschläge (Kalkstein).
3. Ausgabe für Brennstoffe.
4. Löhne. Der Betrag der Löhne für eine bestimmte Menge dargestellten Roheisens hängt zum Teil von örtlichen Verhältnissen, d. h. von den üblichen Lohnsätzen am Orte des Hochofenwerkes ab, mehr aber noch von dem Umfange der Roheisenerzeugung des Hochofens und von den Einrichtungen zur Ersparung an Arbeit für die Beförderung der Rohstoffe. Je gröfser die Roheisenerzeugung ist, und je vollkommener jene Einrichtungen sind, desto niedriger fallen die Löhne für die Gewichtseinheit des dargestellten Roheisens aus. Deshalb sind bei dem Betriebe von Holzkohlenhochöfen die Löhne für die Tonne Roheisen fast immer erheblich höher als beim Betriebe von Kokshochöfen, bei Darstellung grauen Roheisens, Spiegeleisens oder Eisenmangans höher als bei Darstellung gewöhnlichen Weifseisens. Auf europäischen Eisenwerken pflegt bei dem Betriebe mit Koks die Höhe der Löhne für 1 t erzeugten Roheisens 2 bis 3,50 Mk. zu betragen, während bei dem Betriebe mit Holzkohlen die Ausgabe in Anbetracht der kleineren Tageserzeugung auf 10 Mk. und darüber steigen kann. Höher als in Europa ist der Tagesverdienst eines Arbeiters in Nordamerika; aber die durchschnittlich höhere Roheisenerzeugung nordamerikanischer Hochöfen und die zum Teil vortrefflichen Beförderungseinrichtungen ermöglichen es, dafs der Lohnbetrag auf 1 t Roheisen nicht wesentlich höher sich beziffert als in Europa. Das Bestreben nordamerikanischer Hochofenleute, die Erzeugungs-

---

[1]) „Stahl und Eisen“ 1896, S. 571; 1905, S. 1171.

fähigkeit ihrer Öfen bis zum äufsersten zu steigern, selbst auf Kosten der Haltbarkeit der Öfen, findet zum Teil seine Begründung in der dadurch erreichten Erniedrigung der Löhne.

5. Die Insgemeinkosten. Man versteht hierunter eine Summe von Ausgaben, deren Betrag im einzelnen zu geringfügig oder auch in kürzeren Zeitabschnitten zu bedeutenden Schwankungen unterworfen ist, um besonders in Rechnung gestellt zu werden. Hierher gehört z. B. die Wartung der Maschinen (Löhne, Schmieröl, Ausbesserungsarbeiten), die Instandhaltung des Gezähes und Inventars (der Werkzeuge, der Gicht- und Schlackenwagen usw.), Besoldungen der Beamten und Aufseher, Verwaltungskosten, Steuern, Abschreibungen, Beleuchtung und anderes mehr.

Enthält das Eisenwerk neben der Hochofenanlage noch Anlagen für andere Betriebszweige, so lassen einzelne dieser Insgemeinkosten nur im ganzen sich ermitteln (Steuern, Besoldungen, Verwaltungskosten u. a.), und nach einer als geeignet befundenen Regel mufs alsdann ihre Verteilung auf die einzelnen Betriebszweige bewirkt werden. In den meisten Fällen kann das Verhältnis der bei diesem und jenem Betriebszweige gezahlten Löhne als ein geeigneter Mafsstab für die Verteilung jener Insgemeinkosten dienen.

Berechnet man die Selbstkosten des Roheisens für einen längeren Zeitabschnitt, z. B. ein Jahr, so ergibt ein Auszug aus den Büchern ohne weiteres die Summe jener Insgemeinkosten; will man aber für einen kürzeren Zeitabschnitt, z. B. einen Monat, eine Selbstkostenberechnung des Roheisens aufstellen, so würde man auf diese Weise kaum auf ein zuverlässiges Ergebnis rechnen können, da manche der hierhergehörigen Ausgaben überhaupt nur in einer oder in wenigen gröfseren Summen im Laufe eines Jahres aufzutreten pflegen (z. B. Steuern).

In solchen Fällen hat man also die Insgemeinkosten nach Mafsgabe früherer Ergebnisse in Ansatz zu bringen, und zwar gibt auch hier ihre Berechnung nach dem Verhältnisse der gezahlten Löhne meistens das zuverlässigste Ergebnis. Mit den Löhnen, d. h. mit der Zahl der beschäftigten Arbeiter, steigen und fallen fast sämtliche der zu den Insgemeinkosten gehörenden Ausgaben; stellt der für die Tonne Roheisen gezahlte Lohnbetrag sich günstig, so ist dasselbe fast immer auch hinsichtlich der Insgemeinkosten der Fall, und umgekehrt.

Gewöhnlich schwankt der Betrag der auf 1 t Roheisen entfallenden Insgemeinkosten des Hochofenbetriebes zwischen der Hälfte bis dem vollen Betrage der Löhne.

Einzelne der Ausgaben, welche bei den unten folgenden Beispielen unter die Insgemeinkosten aufgenommen sind, lassen sich auch von ihnen abzweigen und besonders in Rechnung stellen, wenn man auf einem Eisenwerke die Selbstkosten in verschiedenen Zeitabschnitten des Betriebes miteinander vergleichen und die Ursachen ihrer Schwankungen tunlichst sorgfältig ermitteln will (Kosten der Hilfswerkstätten, z. B. der Schlosserei, der Beleuchtung u. a. m.). Für den Zweck der hier gegebenen Beispiele, einen allgemeinen Überblick über die Umstände zu ermöglichen, von

welchen die Erzeugungskosten abhängen, ist jedoch eine solche ins einzelne gehende Aufstellung entbehrlich.

Unter den verschiedenen Roheisensorten pflegt phosphorhaltiges, nicht sehr manganreiches Weifseisen (Thomasroheisen, Puddelroheisen) die niedrigsten Erzeugungskosten zu besitzen, da es aus billigen Erzen mit verhältnismäfsig geringem Brennstoffverbrauche bei raschem Gange des Hochofens gewonnen werden kann; dann kommt phosphorarmes weifsstrahliges Roheisen und Spiegeleisen, dessen Selbstkosten mit dem Mangangehalte steigen. Graues phosphorarmes Roheisen besitzt meistens etwas höhere Erzeugungskosten als Spiegeleisen mit mittlerem Mangangehalt, während phosphorreiches, aus Minette oder billig zu gewinnenden Sphärosideriten erzeugtes Graueisen (gewöhnliches Giefsereiroheisen) gewöhnlich zu niedrigerem Preise als dieses sich herstellen läfst.

Beispiele.

1. Es möge zunächst die Art der Berechnung erläutert werden. Auf einem Hochofenwerke sind zur Darstellung von 1 t grauen Roheisens während eines bestimmten Zeitabschnittes die in nachfolgender Zusammenstellung angegebenen Schmelzstoffe zu den ebenfalls angegebenen Einheitspreisen verbraucht worden; die Höhe der für 1 t erzeugten Roheisens gezahlten Löhne hat 2,82 Mk. betragen, und das Verhältnis der Insgemeinkosten zu den Löhnen war nach dem Abschlusse der letzten Jahresrechnung = 0,8 : 1; so ergibt sich der Betrag der Selbstkosten für 1 t Roheisen in dem betreffenden Zeitabschnitte:

1430 kg	gerösteter Kohleneisenstein	1 t zu	9,66 Mk.	13,81 Mk.
550 „	Roteisenstein	1 „ „	15,00 „	8,25 „
390 „	Frischschlacken	1 „ „	6,00 „	2,34 „
675 „	Kalkstein	1 „ „	5,00 „	3,37 „
1050 „	Koks	1 „ „	14,50 „	15,22 „
	Löhne			2,82 „
	Insgemeinkosten 0,8 × 2,82			2,15 „
			zusammen	47,96 Mk.

2. Die Selbstkosten des in Cleveland aus gerösteten Sphärosideriten dargestellten grauen Giefsereiroheisens (mit etwa 1,4 v. H. Phosphor) betrugen im Jahre 1872 für 1 t durchschnittlich[1]):

Erze	12,58 Mk.
Koks	13,38 „
Kalkstein	2,50 „
Löhne	4,08 „
Insgemeinkosten	3,91 „
zusammen	36,40 Mk.

Seitdem ist auch bei den dortigen Öfen die Erzeugung gewachsen, die Betriebseinrichtungen sind vervollkommnet, die Löhne, Insgemeinkosten und der Brennstoffverbrauch infolge davon gesunken, vermutlich aber die Preise der Erze und Koks gestiegen, so dafs die Selbstkosten kaum eine erhebliche Änderung erfahren

1) Wachler, Vergleichende Qualitätsuntersuchungen rheinisch-westfälischen und ausländischen Giefsereiroheisens, S. 34.

haben werden. Die Erzeugungskosten für graues Bessemerroheisen aus phosphorarmen, fremden und deshalb kostspieligeren Erzen betrugen in demselben Bezirke im Jahre 1897 ungefähr[1]):

Erze		30,24 Mk.
Koks		13,35 „
Kalkstein		2,02 „
Löhne		2,77 „
Insgemeinkosten		1,51 „
	zusammen	49,89 Mk.

3. Bei einem Luxemburger Hochofenwerke, welches aus selbstgewonnener Minette unter Zusatz manganhaltiger Erze und Puddelschlacken ohne Anwendung besonderer Zuschläge weifses phosphorreiches Roheisen (Thomasroheisen) erzeugte, betrugen die Selbstkosten im Jahre 1887 für 1 t Roheisen:

2985 kg	Minette	1 t zu	1,60 Mk.[2])	4,77 Mk.
242 „	manganhaltiges Erz	1 „ „	15,50 „	3,75 „
57 „	Puddelschlacke	1 „ „	1,20 „	0,07 „
1001 „	Koks	1 „ „	14,94 „	14,96 „
	Löhne			2,42 „
	Insgemeinkosten			2,10 „
			zusammen	28,07 Mk.

4. Bei den Eisenwerken in Alabama ergaben sich während des Jahres 1896 im Mittel folgende Selbstkosten[3]):

2470 kg	Erz		7,21 Mk.
	Kalkstein		0,54 „
1200 kg	Koks		11,49 „
	Löhne		4,06 „
	Insgemeinkosten		3,86 „
		zusammen	27,16 Mk.

Wie man sieht, geben die Preise der Erze und Brennstoffe in erster Reihe den Ausschlag für die Erzeugungskosten des Roheisens. Wo jene billig zu erlangen sind, sei es aus eigenen Gruben oder aus der Ferne bei niedrigen Frachtkosten, da kann der Hochofenbetrieb sich günstig entwickeln; wo es nicht der Fall ist, darf auf einen nutzbringenden Betrieb nicht gerechnet werden. Erst in zweiter Reihe kommen die Ausgaben für Löhne und Insgemeinkosten in Betracht[4]).

Literatur.

a) Einzelne Werke.

H. Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde, 2. Auflage, Band 3, Braunschweig 1904.

E. F. Dürre, Die Anlage und der Betrieb der Eisenhütten. Leipzig 1882 bis 1892. Bd. 2.

---

[1]) „Stahl und Eisen" 1898, S. 635, aus Engineering and Mining Journal 1897, S. 671.

[2]) Über die Gewinnungskosten der Minette vergleiche „Stahl und Eisen" 1890, S. 682.

[3]) „Stahl und Eisen" 1899, S. 76.

[4]) Sonstige Beispiele der Selbstkosten für die Roheisenerzeugung in verschiedenen Ländern: „Stahl und Eisen" 1896, S. 476 (Nordamerika); 1898, S. 635 (Amerika, Europa).

M. L. Gruner, Analytische Studien über den Hochofen. Nach dem Französischen bearbeitet von J. H. Steffen. Wiesbaden 1875.
R. Åkerman, Studien über die Wärmeverhältnisse des Eisenhochofenprozesses. Deutsch von P. Tunner. Leipzig 1872.
J. L. Lowthian Bell, Über die Entwicklung und Verwendung der Wärme in Eisenhochöfen verschiedener Dimensionen. Frei übersetzt von P. Tunner. Leipzig 1870.
J. L. Lowthian Bell, Principles of the manufacture of iron and steel, with some notes on the economic conditions of their production. London 1884.

b) Abhandlungen.

F. W. Lürmann, Über die Inbetriebsetzung von Kokshochöfen. Berggeist 1869, S. 551; Kerpely, Bericht über die Fortschritte der Eisenhüttentechnik 1869, S. 116.
L. Merlet, Das Anblasen des Hochofens in Zeltweg. Jahrbuch der österreichischen Bergakademien 1874 (Bd. 22), S. 263).
J. Kennedy, Blast-furnace Working. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 8, S. 348.
E. Bellani, Das Anblasen der Kokshochöfen. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1873, S. 25.
Anblasen und Betrieb des Hochofens der Crozer Eisenwerke in Virginia. „Stahl und Eisen“ 1885, S 84.
Anblasen eines Hochofens in Alabama. „Stahl und Eisen“ 1889, S. 816.
Füllen und Anblasen eines amerikanischen Hochofens. „Stahl und Eisen“ 1890, S. 702.
F. Bicheroux, La mise à feu des hauts-fourneaux. Revue universelle des mines, Reihe 3, Band 33 (1896), S. 175.
Amerikanischer Hochofenbetrieb (Anblasen, Brennstoffverbrauch, Erzeugung, Windmenge usw.). „Stahl und Eisen“ 1891, S. 985; aus den Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 20, S. 255.
T. F. Witherbee, Notes on two scaffolds at the Cedar Point furnace. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 9, S. 41.
J. P. Witherow, Removing scaffolds in blast-furnaces. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 9, S. 60.
T. F. Witherbee, Removing obstructions from blast-furnace hearths and boshes. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Bd. 13, S. 675.
W. J. Taylor, The use of high explosives in the blast-furnace and of a waterspray for cooling in blowing down. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 13, S. 670.
F. W. Lürmann, Beseitigung von Versetzungen in Hochofengestellen. „Stahl und Eisen“ 1886, S. 461.
Dr. Weeren, Ein neues Verfahren zur schnellen Beseitigung von Ofenansätzen. „Stahl und Eisen‘ 1903, S. 508.
Dr. Menne, Mitteilungen über ein Verfahren zur Beseitigung von Hochofenansätzen und dergleichen. „Stahl und Eisen“ 1903, S. 627.
Menne, Das Köln-Müsener Schmelzverfahren. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1904, S. 1353.
Burgers, Einbau eines neuen Schachtes bei gedämpftem Hochofen. Wochenschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1879, S. 354.
F. Müller, Mitteilungen über Hochofenreparaturen. „Stahl und Eisen“ 1901, S. 4.
F W. Lürmann, Dämpfen von Hochöfen. „Stahl und Eisen“ 1889, S. 991.
F. W. Lürmann, Die Hochöfen von Creusot während des Arbeiterausstandes vom 20. September bis 6. Oktober 1899. „Stahl und Eisen“ 1899, S. 1101.
Ältere Mitteilungen über das Dämpfen der Hochöfen. „Stahl und Eisen“ 1898, S. 1086.
R. Buch, Das Dämpfen der Hochöfen. „Stahl und Eisen“ 1905, S. 130.
Das Hängen der Gichten in den Hochöfen. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 114, 336, 467, 528, 582.

W. van Vloten, Die Verbrennung im Gestell des Hochofens. „Stahl und Eisen“ 1893, S. 26.
K. L. Koch, Das Hängen der Gichten in Hochöfen. „Stahl und Eisen“ 1898, S. 744
G. Bernhard, Note sur les serrages dans les hauts-fourneaux. Revue universelle des mines, Reihe 3, Band 35 (1896) S. 64.
B. Osann. Über Störungen im Hochofengange. „Stahl und Eisen“ 1901, S. 1277.
B. Osann, Interessante Erscheinungen beim Hochofengange und ihre Erklärung. „Stahl und Eisen“ 1902, S. 258.
B. Osann, Hochofenexplosionen beim Stürzen der Gichten. „Stahl und Eisen“ 1903, S. 773
Schilling, Über die durch das Hängen der Gichten veranlafsten Hochofenexplosionen. „Stahl und Eisen“ 1903 S. 623, 838.
A. Nath, Über die durch das Hängen der Gichten veranlafsten Hochofenexplosionen. „Stahl und Eisen“ 1903, S. 922.
E. Heynen, Über die Beseitigung des Hängens bei Hochöfen. „Stahl und Eisen“ 1905, S. 1295.
E. Kraynik, Hochofengase beim Hängen der Gichten. „Stahl und Eisen“ 1905, S. 1437.
E. Jagsch, Das Auftreten von Rohgängen und ihre Beseitigung. „Stahl und Eisen“ 1903, S. 818.
O. Simmersbach, Über Roheisendurchbrüche im Hochofen. Berg- und hüttenmännische Rundschau, Jahrgang 1, S. 284.
W. van Vloten, Die technischen Fortschritte des deutschen Hochofenbetriebes. „Stahl und Eisen“ 1895, S. 117.
F. W. Lürmann, Über Schlackentransport. „Stahl nnd Eisen“ 1884, S. 143.
F. W. Lürmann, Neuere Schlackenwagen. „Stahl und Eisen“ 1891, S. 370.
Amerikanische Schlackenwagen. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 253.
Neue Giefs- und Fortbewegungseinrichtungen bei Hochöfen. „Stahl und Eisen“ 1897, S 665.
Über Roheisenmasseln für die Giefserei. „Stahl und Eisen“ 1898, S. 214.
Zwei neue amerikanische Giefs- und Fortbewegungseinrichtungen für Roheisenmasseln. „Stahl und Eisen“ 1898, S. 621.
Karl Orths Roheisengiefsvorrichtung. „Stahl und Eisen“ 1900, S. 1033.
E. Belani, Giefsen des Roheisens vom Hochofen. „Stahl und Eisen“ 1901, S. 49, 850.
F. W. Lürmann, Roheisengiefsmaschine. „Stahl und Eisen“ 1901, S. 163.
Roheisengiefsmaschine. „Stahl und Eisen“ 1901, S. 1054.
A. E. Fay, The development of the pig casting machine. Iron Age vom 10. Okt. 1901, S. 13 und vom 17. Okt. 1901, S. 6.
L. Bell, On the use of caustic lime in the blast-furnace. The Journal of the Iron and Steel Institute 1894 II, S. 38; daraus in „Stahl nnd Eisen“ 1894, S. 1011.
C. Cochrane, Über die Erfolge der Verwendung von gebranntem Kalk statt Kalkstein beim Hochofenbetriebe. Aus den Transactions of the Institution of Mechanical Engineers in „Stahl und Eisen“ 1890, S. 29.
C. Cochrane, On the relative merits of limestone and lime in blast-furnacepratice. The Journal of the Iron and Steel Institute 1888 I, S. 69
R. Åkerman, Über die Reduktion oxydierten Eisens durch Kohlenoxyd. „Stahl und Eisen“ 1883, S. 149. (Anwendung auf den Hochofenbetrieb, S. 157.)
P. Tunner, Ein Beitrag zur Kenntnis des Hochofenprozesses durch direkte Bestimmungen. Jahrbuch der österreichischen Bergakademien. Bd. 9, S. 280; Bd. 10, S. 491.
F. Kupelwieser und R. Schoeffel, Beiträge zum Studium des Hochofenprozesses durch direkte Bestimmungen. Jahrbuch der österreichischen Bergakademien, Bd. 21, S. 169 und 367.
G. Wepfer, Versuche über den Niedergang der Gichten im Hochofen. Berg- und hüttenm. Ztg. 1865, S. 398, 425, 440.

L. Bell, On the reduction of ores of iron in the blast-furnace. The Journal of the Iron and Steel Institute 1887 II, S. 74.
G. Hilgenstock, Über das Verhalten des Phosphors im Hochofen. „Stahl und Eisen“ 1884, S. 2.
N. Kjellberg, Über das Verhalten der Phosphorsäure im Hochofen. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 1011 (aus Jernkontorets Annaler 1892, S. 191).
Rob. Bunsen, Über die gasförmigen Produkte des Hochofens und ihre Benutzung als Brennmaterial. Poggendorffs Annalen, Bd. 46 (2. Reihe, Bd. 30), S. 489.
Th. Scheerer und Chr. Lang, Untersuchung der Gichtgase eines norwegischen Eisenhochofens. Poggendorffs Annalen, Bd. 40 (2. Reihe, Bd. 16), S. 193.
L. Rinman und B. Fernquist, Untersuchungen über Zusammensetzung, Pressung und Temperatur der Hochofengase. Berg- und hüttenm. Ztg. 1865, S. 257.
A. Tamm, Researches on the composition of the gases escaping from the Swedish blast-furnaces. Iron, Bd. 16, S. 23, 46, 310, 400, 411, Bd. 17, S. 22, 58.
A. Jaumain, De la composition et de la température des gaz des hauts-fourneaux. Annales des mines, Reihe 7, Band 20, S. 323.
L. Gruner, Notes sur les hauts-fourneaux belges à l'occasion du mémoire de M. Jaumain sur la température et la composition des gaz sortant du gueulard. Annales des mines, Reihe 7, Band 20, S. 336.
F. W. Lürmann, Über die Zusammensetzung und Temperatur der Hochofengase. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1882, S. 266.
Ed. Bellani, Untersuchungen über die Brennbarkeit der Hochofengase. Österr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1876, S. 444.
H. v. Jüptner, Anwendung von Gichtgasanalysen zur Kontrolle des Hochofenganges. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1895, S. 430.
B. Osann, Berechnung der Zusammensetzung der Hochofengase, der in den Hochofen eingeführten Windmenge und der Windverluste. „Stahl und Eisen“ 1901, S. 906.
C. Waldeck, Gasanalytische Durchrechnung eines deutschen Hochofens auf Gießereiroheisen. „Stahl und Eisen“ 1903, S. 670.
R. Schenck, Über den Hochofenprozeß. Zeitschr. für angewandte Chemie 1904, S. 1077.
R. Schenck und W. Heller, Die Gleichgewichte im Hochofen. „Stahl und Eisen“ 1905, S. 1121.
I. Porter, Notes on the behaviour of zinc in the blast-furnace. Iron Age vom 24. März 1904, S. 10; auch „Stahl und Eisen“ 1904, S. 1359.
F. Wüst und P. Wolff, Das Verhalten des Koksschwefels im Hochofen. „Stahl und Eisen“ 1905, S. 585, 695.
H. Wedding, Über den Hochofenbetrieb mit rohen Steinkohlen. Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen in Preußen, Bd. 19, S. 5.
Anwendung von Steinkohlen beim Hochofenbetriebe. Berggeist 1869, S. 313.
W. Jones, The present position and prospects of processes for the recovervy of tar and ammonia from blast-furnaces. The Journal of the Iron and Steel Institute 1885 II, S. 410.
J. M. Hartmann, Über amerikanische Anthracit-Hochöfen, Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1882, S. 489.
O. Simmersbach, Die Anthracithochöfen in Südrußland. „Stahl und Eisen“ 1901, S. 1090.
E. Heyrowski, Über Verwendung roher Braunkohlen beim Hochofen. Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1875. S. 135.
Fr. Kupelwieser, Studien über die Verwendung von Braunkohlen beim Hochofenbetriebe. Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1881, S. 260.
P. Tunner, Über die Verwendung von Ligniten oder Braunkohlen im Hochofen. „Stahl und Eisen“ 1882, S. 426.

F. Friederici, Über Verwendung von Braunkohlen im Hochofen. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1882, S. 1.
A. Enigl, Über Mitverwendung von Maschinentorf beim Hochofenbetriebe. Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1879, S. 260.
F. W. Lürmann, Über Preis und Qualität von Koks und Kohlen für den Hochofenbetrieb. „Stahl und Eisen“ 1884, S. 278.
L. Bell, The use of raw coal in the blast-furnace. The Journal of the Iron and Steel Institute 1884 I, S. 13; in deutscher Bearbeitung in „Stahl und Eisen“ 1884, S. 332.
W. Thörner, Beiträge zum Studium von Steinkohlen, Koks und Holzkohlen als Hochofenbrennmaterial. „Stahl und Eisen“ 1886, S. 71.
G. Jantzen, Holzkohle und Koks im Hochofenbetriebe. „Stahl und Eisen“ 1886, S. 83.
O. Simmersbach, Über die Verwendung schwefelreicher Brennstoffe im Hochofen. „Stahl und Eisen“ 1903. S. 163.
A. Ledebur, Zur Theorie der Manganhochöfen. Glasers Annalen, Band 8 (1881), S. 450.
Stöckmann, Über Ferromangan. „Stahl und Eisen“ 1885, S. 475 (nach einer Abhandlung von A. Pourcel im Génie civil 1885, Nr. 1, 2 und 4).
F. Gautier, Les alliages ferrométalliques; Ferro-Manganèse. Bulletin de la société de l'industrie minérale 1889, S. 851 (enthält Mitteilungen über die Darstellung der Eisenmangane).
W. Mrázek, Über stöchiometrische Entwürfe von Eisenhochofenbeschickungen und Hilfstabellen für dieselbe. Jahrbuch der österreichischen Bergakademien, Bd. 18, S. 282.
W. Mrázek, Schnelle stöchiometrische Methode zum Entwerfen von Eisenhochofen-Beschickungen. Jahrbuch der österreichischen Bergakademien, Bd. 19, S. 375.
H. C. Jenkins, A graphic method for calculating blast-furnace charges. The Journal of the Iron and Steel Institute 1891 I, S. 151.
Fr. Toldt, Hochofenschlacken-Berechnung. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1892, S. 15.
B. Platz, Über Berechnung des Kalksteinzuschlages und der Hochofenschlacken. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 2.
S. P. Bjerregaard, The calculation of limestone charges for iron-blast-furnaces. Iron Age, Band 52, S. 609.
L. Blum, Zur Konstitution der Hochofenschlacken. „Stahl und Eisen“ 1901, S. 1024.
F. Wittmann, Über die Zusammensetzung der Schlacken bei der Ferromanganerzeugung. „Stahl und Eisen“ 1904, S. 14.
G. Rocour, Étude sur l'équilibre calorifique du haut-fourneau. Revue universelle des mines, Reihe 3, Band 42 (1898), S. 1.
L. Bell, Vergleichende Betriebsresultate bei Holzkohlen- und Kokshochöfen. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1882, S. 478. „Stahl und Eisen“ 1882, S. 604.
H. Wedding, Die Wärmeverluste bei Hochöfen. „Stahl und Eisen“ 1892, S. 1029.
E. Windsor Richards, Der heutige Hochofenbetrieb und die Roheisenerzeugung in den verschiedenen Ländern. „Stahl und Eisen“ 1896, S. 568 (aus den Transactions of the Institution of Mechanical Engineers 1896).
Höchstleistungen von Hochöfen. „Stahl und Eisen“ 1902, S. 294.
B. Osann, Betrachtungen über den amerikanischen Hochofenbetrieb. „Stahl und Eisen“ 1905, S. 1169.

VII. Die Nebenerzeugnisse des Hochofenbetriebes und ihre Verwendung.

1. Die Gichtgase.

In Anbetracht ihres bedeutenden Brennwertes bilden die Gichtgase, wie schon früher hervorgehoben wurde, ein wertvolles Nebenerzeugnis des Hochofenbetriebes. Die Abhängigkeit der Zusammensetzung der Gichtgase von dem Verlaufe des Hochofenschmelzens, von der Reduzierbarkeit der Erze usw. wurde bereits erläutert.

Beispiele der Zusammensetzung der trockenen Gichtgase.

	Raumteile					Gewichtsteile				
	N	CO	CO_2	H	CH_4	N	CO	CO_2	H	CH_4
Holzkohlenofen zu Vordernberg, auf Weifseisen betrieben (1881) . .	56,7	25,5	15,3	1,7	0,8	53,3	23,8	22,4	0,1	0,4
Schwedischer Holzkohlenofen, nach Rinman (Berg- und hüttenm. Ztg. 1877, S. 94)	57,3	23,1	14,8	4,3	0,5	55,0	22,1	22,3	0,3	0,3
Cleveländer Kokshochofen, nach Bell (Österr. Zeitschr. 1882, S. 483) . .	59,8	26,4	11,7	2,1	—	57,4	25,2	17,3	0,1	—
Kokshochofen Nr. II zu Eisenwerk Phönix bei Ruhrort (1875) beim Betriebe auf gewöhnliches Weifseisen, nach Stöckmann. (Die Gase des Hochofens und der Siemens-Generatoren, S. 20) .	59,0	28,1	10,7	1,7	0,5	56,9	26,9	15,9	0,1	0,2
Ebenda, beim Betriebe auf manganreicheres Roheisen und bei heifserem Gange	62,8	31,0	5,3	0,5	0,4	61,5	30,1	8,1	0,03	0,2
Kokshochofen zu Esch, mit Minette auf graues Roheisen betrieben, nach Gredt („Stahl und Eisen“ 1890, S. 593)	59,8	23,5	13,8	0,1	2,2	56,0	21,9	20,2	0,01	1,9

Hieraus ergeben sich die auf S. 110 I enthaltenen Mittelwerte der Zusammensetzung.

Aufserdem enthalten die Gase Wasserdampf, dessen Menge beispielsweise bei dem Hochofen des Eisenwerks Phönix 8,0 Raumteile oder 5,0 Gewichtsteile, bei dem Hochofen zu Esch 15,4 Raumteile oder 10,3 Gewichtsteile in 100 Raum- oder Gewichtsteilen des wasserhaltigen Gasgemisches betrug.

Ferner findet sich in allen Gichtgasen mitgeführter Staub, dessen Menge 1 bis 40 g in einem Kubikmeter betragen kann, und dessen Zusammensetzung unten Besprechung finden wird.

Von der Gewinnung, Reinigung und Verbrennung der Gichtgase war bereits früher die Rede.

Es läfst sich leicht ermessen, dafs, wenn der Kohlendioxydgehalt der Gichtgase vor ihrer Benutzung in Kohlenoxyd umgewandelt würde — etwa durch Hindurchleiten der Gase durch glühende Kohlen —, man ein Gasgemenge erhalten würde, welches einen geringeren Stickstoffgehalt als alles Luftgas enthielte und deshalb einen höheren Brennwert als dieses besäfse. Bei Erzeugung des Luftgases führt jedes Gewichtsteil Sauerstoff, welches zur Vergasung des Brennstoffs erforderlich ist, eine bestimmte Menge Stickstoff mit in das Gasgemenge; im Hochofen dagegen entstammt nur ein Teil des gesamten Sauerstoffgehalts dem zugeführten Winde; ein anderer, nicht unbeträchtlicher Teil wird bei den Reduktionsvorgängen aus den Erzen ohne den begleitenden Stickstoff in das Gasgemenge geführt.

Eine Nutzanwendung dieses Umstandes ist bislang nicht gemacht worden. Die Zerlegung des Kohlendioxyds durch Kohle ($CO_2 + C = 2\,CO$) erheischt einen Wärmeverbrauch, dessen Deckung nur durch einen Brennstoffaufwand erreichbar ist. Die Kosten des Verfahrens, dessen Durchführung auch besonderer Vorrichtungen bedürfte, würden voraussichtlich nicht durch den erreichbaren Nutzen gedeckt werden.

2. Schlacken.

Die chemische Zusammensetzung der Hochofenschlacken und die Beziehungen, welche zwischen dieser und der Beschaffenheit des miterfolgenden Roheisens obwalten, wurden schon früher besprochen und durch Beispiele erläutert.

Vergegenwärtigt man sich, dafs zahlreiche Hochöfen annähernd gleiche Gewichtsmengen Roheisen und Schlacke liefern, manche Hochöfen sogar noch mehr Schlacke als Roheisen, während das spezifische Gewicht der Schlacke nur ungefähr ein Drittel so grofs ist als das des Roheisens, so wird man sich sagen, dafs, wenn die Schlacke nur eines einzigen gröfseren Hochofens auf die Halde gestürzt wird, ohne Benutzung zu finden, dazu im Laufe der Zeit eine beträchtliche Grundfläche erforderlich sein mufs, und dafs Eisenwerke mit zahlreichen Hochöfen leicht vor der Unmöglichkeit stehen können, ihre Schlacke in dieser Weise fernerhin unterzubringen.

Dieser Umstand allein schon ist für die Hochofenleute eine genügende Veranlassung, nach irgend einer Verwendung ihrer Schlacke zu suchen; läfst sich diese Verwendung aber in einer solchen Weise erreichen, dafs für den Hochofenbetrieb noch ein Geldgewinn daraus erzielt wird, so vereinigt man das Nützliche mit dem Notwendigen und befördert das Gedeihen des Betriebes.

Die Verwendungsarten der Hochofenschlacke, welche im Laufe der Zeit entstanden, sind ziemlich mannigfaltig.

Verwendung zu Strafsen- und Dammbauten.

Diese Verwendungsart ist einfach. Wo die Beschaffenheit der Schlacke sie ermöglicht und der Bedarf an solchem Baustoffe vorliegt, ist sie sehr üblich. Für Eisenbahnbauten z. B. werden in manchen Gegenden grofse Mengen von Hochofenschlacken verbraucht.

Vorzugsweise eignen sich steinige, nicht allzu kalkreiche Schlacken hierfür, welche der Zersetzung unter den Witterungseinflüssen wenig unterworfen sind. Ein hoher Tonerdegehalt ist für diese Verwendung günstig. Nach der Beschaffenheit des auszuführenden Baues ist die Form, in welcher die Schlacke hierbei zur Verwendung kommt, verschieden. In einzelnen Fällen benutzt man ohne weiteres die Blöcke, zu denen die Schlacke in den Schlackenwagen erstarrt. Bei Dammbauten am Teesflusse in Cleveland stellte man in dieser Weise Blöcke mit einem Gewichte bis zu $3^1/_2$ t her, welche auf dem Schlackenwagen selbst bis zum Damme — einer Entfernung von etwa 10 km — gefahren wurden. Häufiger wird die Schlacke zerschlagen oder auf einer Steinbrechmaschine zu faustgrofsen Stücken zerbrochen. In jedem Falle ist ein möglichst grofser räumlicher Inhalt des Schlackenblockes zur Verzögerung der Abkühlung wünschenswert; je langsamer die Erkaltung vor sich geht, desto mehr verliert die Schlacke an Sprödigkeit. Langsam erkaltete Schlacke pflegt die Festigkeit des Basaltes zu besitzen, mitunter noch gröfsere.

Schlackensand.

Zu Sand verarbeitete Hochofenschlacke läfst sich zu mancherlei Zwecken verwenden. Wo ein natürlich vorkommender Sand von geeigneter Beschaffenheit fehlt, benutzt man den Schlackensand als Schüttung für Fufswege und Pflasterungen; bei der Mörtelbereitung bildet er einen vorzüglichen Zusatz zum gelöschten Kalk an Stelle der sonst hierbei gebräuchlichen Zusätze. Von seiner Verwendung für Ziegeldarstellung wird unten die Rede sein.

Die Zerkleinerung der Schlacke zum Zwecke der Bereitung des Schlackensandes wird in verschiedener Weise bewirkt.

Bei den Holzkohlenhochöfen, welche auf graues Roheisen für den unmittelbaren Gufs betrieben werden, enthält die erfolgende zähe Schlacke gewöhnlich noch Eisenkörner in gröfserer Zahl eingeschlossen. Man verbindet in diesem Falle die Zerkleinerung der Schlacke mit der Aufgabe, jenes Eisen wieder zu gewinnen, und bedient sich dazu eines Pochwerkes nebst Wäsche. Die Pochsohle befindet sich in einem Kasten, dessen eine schmale Seite niedriger als die übrigen ist und nur etwa 10 cm oder weniger über die Pochsohle vorragt. An diese Seite schliefst sich ein flaches Gerinne an, welches schliefslich in einen noch etwas flacheren Graben ausmündet. Einzelne flache Querschwellen in dem Gerinne dienen zum Zurückhalten der Eisenkörnchen. Die Schlackenstücke werden, wenn sie sehr grofs sind, zunächst durch Hämmer in kleinere

Stücke zerschlagen, und diese werden dann unter dem Pochwerke vollends zerkleint. Während des Pochens läfst man von einem höherliegenden Gerinne aus Wasser durch den Kasten des Pochwerkes fliefsen, welches die feineren Teilchen mit fortnimmt, die gröberen Stücke und die ausgepochten Eisenkörner aber zurückläfst. In dem Gerinne und Graben setzt sich der Schlackensand ab; zunächst fallen die etwa zufällig mitgerissenen Eisenkörner nieder, dann der gröbere Sand, zuletzt der feinere, so dafs man auf diese Weise Sandsorten von verschiedener Korngröfse trennen kann[1]).

Die ausgewaschenen Eisenkörner, welche man Wascheisen nennt, werden gesammelt und in den meisten Fällen beim Hochofen wieder aufgegeben, da sie dem Rosten stark unterworfen sind. Auch bei kleineren Hochöfen ist die Menge des im Verlaufe eines Jahres erfolgenden Wascheisens oft nicht unbeträchtlich.

Die Schlacken aller Kokshochöfen und der auf Weifseisen betriebenen Holzkohlenhochöfen, welche im dünnflüssigen Zustande aus dem Ofen kommen und demnach nur unbedeutende Mengen eingeschlossener Eisenkörnchen enthalten können, pflegt man, sofern sie zerkleinert werden sollen, zu körnen (granulieren), d. h. durch Einleiten unmittelbar aus der Schlackenrinne des Hochofens in bewegtes Wasser zu zerteilen. Sie nehmen dabei die Form dünner, unregelmäfsig geformter Blättchen oder Körnchen von einigen Millimetern Durchmesser an, welche für die meisten Zwecke schon in diesem Zustande benutzbar sind, jedenfalls mit Leichtigkeit eine weitere Zerkleinerung durch Zermahlen oder dergleichen zulassen. Gewöhnlich benutzt man das von den Formen kommende Kühlwasser und leitet die Schlacke sofort in die Rinne, welche das Kühlwasser abführt. In einem tiefer stehenden Behälter wird dann die Schlacke gesammelt, während das Wasser weiterfliefst.

Wo grofse Mengen Schlacken gekörnt werden, verbindet man mit der Vorrichtung dafür eine andere zum Herausheben der gekörnten Schlacke. Ein Becherwerk schöpft vom Boden des Behälters die Schlacke empor und schüttet sie in einen seitlichstehenden, auf Schienen laufenden Wagen. Auch weniger einfache Einrichtungen sind mitunter an Stelle des Becherwerkes benutzt worden.

Schlackenwolle.

Wenn man in fliefsende Hochofenschlacke einen Dampf- oder Windstrahl leitet, wird sie in einzelne feine Körnchen zerteilt, deren jedes einen mehr oder minder langen Schlackenfaden, wie einen Schweif, nach sich zieht. Diese Fäden bilden die Schlackenwolle.

Das Verfahren der Herstellung von Schlackenwolle ist dem-

---

1) Neuerdings hat man auch Kugelmühlen zur Zerkleinerung der Schlacke und Elektromagnete zum Ausziehen der Eisenkörner in Anwendung gebracht („Stahl und Eisen“ 1901, S. 1254).

nach einfach. Unter die Rinne, aus welcher die Schlacke in die Schlackenwagen fällt, braucht man nur ein Dampfrohr mit einer Mündung von 6 bis 8 mm Weite zu legen, so dafs die niederfallende Schlacke von dem Dampfstrahle getroffen wird. In einer dahinterstehenden, nach der Seite des Rohres zu offenen Kammer aus Eisenblech von mindestens 2 m Länge, in deren Decke eine Abzugsöffnung für den Dampf angebracht ist, kann die Schlackenwolle gesammelt werden. Teilt man die Kammer durch ein wagerechtes Blech in eine untere und eine obere Hälfte, so sammeln sich die schweren Körnchen zu unterst, und in der oberen Abteilung findet sich die feinere Wolle. Noch besser als Eisenblech für die Kammer eignet sich Drahtgewebe, an welchem die Wolle leicht haftet und welches zugleich dem Dampfe den Durchgang gestattet[1]).

Die Schlackenwolle ist ein schlechter Wärmeleiter und fand deshalb vor einigen Jahrzehnten, vornehmlich in den siebenziger Jahren des vorigen Jahrhunderts, häufige Benutzung zur Verpackung von Gegenständen, welche stark erhitzt werden und vor Wärmeverlusten geschützt werden müssen, Leitungsröhren für Dampf, heifsen Wind u. a. m. Eine üble Eigenschaft der Schlackenwolle ist jedoch ihre Zersetzbarkeit unter dem Einflusse von Feuchtigkeit und Luft. In besonders starkem Mafse sind die kalkerde- und schwefelreichen Schlacken mancher Kokshochöfen dieser Zersetzung unterworfen (hinsichtlich des chemischen Vorganges bei der Zersetzung des Schwefelcalciums vergleiche S. 204 I). Aus der ursprünglich wolligen Masse wird durch Entstehung von Carbonaten und Sulfaten des Calciums mitunter ein harter, steinartiger Körper; wo schwefelreiche Schlackenwolle mit metallischem Eisen in Berührung ist, entsteht Schwefeleisen, welches allmählich in Eisenvitriol umgewandelt wird, so dafs eine Zerstörung des eisernen Gegenstandes die Folge davon sein kann. In bewohnten Räumen aber, wo man bisweilen Schlackenwolle als Fufsbodenfüllung zu benutzen versucht hat, macht der sich entwickelnde Schwefelwasserstoff den Aufenthalt unerträglich.

Dieses nachteilige Verhalten mancher Schlackenwolle macht es erklärlich, dafs die Erwartungen, welche man einst hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit hegte, sich nur in beschränktem Mafse erfüllt haben, und dafs ihre Darstellung nur noch vereinzelt betrieben wird. Vielleicht ist man, abgeschreckt durch einzelne Mifserfolge, auch in der abfälligen Beurteilung der Anwendbarkeit der Schlackenwolle zu weit gegangen. Schlackenwolle, aus schwefelarmer und nicht allzu kalkreicher Schlacke erzeugt, wird immerhin ein geeigneter und billiger Stoff für die erwähnten Zwecke bleiben, denn ihre Wärmeleitungsfähigkeit ist sehr gering. Nach Versuchen von G. E. Emery leitet die Schlackenwolle die Wärme nur $^1/_5$ bis $^1/_6$ so gut als atmosphärische Luft[2]).

---

1) Eine Abbildung einer solchen aus Drahtgewebe hergestellten Kammer enthält das Journal of the Iron and Steel Institute 1877. Im übrigen ist die Einrichtung sehr einfach und wird auch ohne Abbildung verständlich sein.

2) Engineering and Mining Journal, Band 32, S. 219; Österr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1881, S. 615.

Vorzugsweise dürfte die Schlacke von Holzkohlenhochöfen wegen ihres geringeren Schwefel- und gröſseren Kieselsäuregehalts zur Darstellung guter Schlackenwolle sich eignen.

Darstellung von Zement (hydraulischem Mörtel).

Schon oben wurde erwähnt, daſs Schlackensand, durch Körnung hergestellt, als vortrefflicher Zusatz bei der Mörtelbereitung an Stelle anderer für diesen Zweck benutzter Körper dienen könne. Man mischt den gelöschten Kalk mit drei bis fünf Teilen Schlackensand, und ein solcher Mörtel besitzt häufig bei entsprechender Beschaffenheit der Schlacke auch die Fähigkeit, unter Wasser zu erhärten. Versuche, welche bereits in den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts über die Druckfestigkeit gewöhnlichen, d. h. mit scharfem Mauersande oder auch mit Mauersande und rheinischem Traſs zubereiteten Mörtels und Schlackenmörtels angestellt wurden, ergaben, daſs die Festigkeit des letzteren beim Erhärten an der Luft 9- bis 10mal so groſs als die des nur mit Mauersand bereiteten Mörtels, doppelt bis dreifach so groſs als die des mit Mauersand und rheinischem Traſs bereiteten Mörtels war, während beim Erhärten in feuchtem Erdreich die Festigkeit des Schlackenmörtels doppelt bis vierfach so groſs war als bei Zusatz von rheinischem Traſs und Mauersand[1]).

Obschon der in solcher einfachen Weise bereitete Mörtel zunächst nur als Luftmörtel Verwendung fand, legten doch die gemachten Beobachtungen die Vermutung nahe, daſs es möglich sein werde, durch entsprechende Vervollkommnung des Verfahrens wirklichen, dem Puzzolanzement gleichwertigen hydraulischen Mörtel zu gewinnen[2]).

Diese Erwartung hat sich voll bestätigt, und ziemlich viele Fabriken beschäftigen sich mit der Herstellung des Schlackenzements.

Nicht alle Schlacken eignen sich jedoch gleich gut für diese Verwendung. Wenig geeignet sind sehr kieselsäurereiche Schlacken; kalkerdereiche Schlacken, welche nicht zu arm an Tonerde sind, bewähren sich am besten. Schlacken von Holzkohlenhochöfen pflegen zu arm an Kalkerde zu sein, um sich gut verwenden zu lassen. Nach Tetmajer sind alle solche Schlacken von der Benutzung ausgeschlossen, bei welchen das Verhältnis des Gewichtes der Kalkerde zu dem der Kieselsäure nicht gröſser als 1,0 ist; als die geeignetsten Schlacken bezeichnet er diejenigen, in welchen sich Kalkerde zur Kieselsäure und Tonerde ungefähr wie 46:30:16 verhalten[3]). Detienne bezeichnet als ein geeignetes Verhältnis[4]):

---

[1]) Zeitschrift des Ingenieur- und Architekten-Vereines für das Königreich Hannover, Band 13 (1867), S. 303.

[2]) Puzzolanzement wird durch Mischen gelöschten Kalkes mit Puzzolanerde, Traſs oder Santorin dargestellt.

[3]) Vergleiche die unter Literatur genannten Abhandlungen; unter anderen auch: Notizblatt des Ziegler- und Kalkbrenner-Vereins 1887, Nr. 2.

[4]) Vergleiche dessen Abhandlung unter Literatur.

SiO_2 . . .	27	bis	32	v. H.
Al_2O_3 . . .	12	„	22	„
CaO . . .	55	„	49	„
MgO . . .	1	„	1,5	„

Ein mäfsiger Schwefelgehalt ist ohne Nachteil.

Die Schlacke wird zunächst durch Einleiten in Wasser gekörnt, wie oben beschrieben wurde. Das Körnen ist nicht nur das einfachste Verfahren der Zerkleinerung, sondern es ist auch unumgänglich wegen der chemischen oder physikalischen Änderungen, welche die Beschaffenheit der Schlacke hierbei erleidet. Schlackenpulver, durch Zerkleinerung gröfserer, langsam erkalteter Schlackenstücke gewonnen, ist für Darstellung von Schlackenzement nicht oder doch weniger gut brauchbar, wie durch Versuche festgestellt worden ist[1]). Je dünnflüssiger die Schlacke, je kälter das benutzte Wasser ist, desto günstiger soll sich die gekörnte Schlacke verhalten.

Die gekörnte Schlacke wird zunächst getrocknet, sei es auf eisernen Platten, sei es in weniger einfachen, aber leistungsfähigeren Vorrichtungen. Mitunter benutzt man einen um eine wagerechte Achse sich drehenden Hohlzylinder, in welchem die Schlacke durch schraubenförmig angeordnete Bleche einem heifsen Luftstrome entgegengeführt wird. Eine Erhitzung bis zur beginnenden Rotglut beeinträchtigt nicht die Brauchbarkeit der Schlacke; höhere Temperatur ist schädlich.

Die trockene Schlacke wird in irgend einer geeigneten Vorrichtung staubfein gemahlen, um dann mit dem inzwischen ebenfalls vorbereiteten Kalk vermischt zu werden. Der Kalk darf nur trocken, d. h. mit nur so viel Wasser gelöscht werden, dafs er zu Staub zerfällt. Einen bis zwei Tage nach diesem Löschen wird der Kalk gesiebt und dann dem Schlackenmehl zugesetzt. Auf 100 Teile Schlacke kommen 15 bis 30 Teile Kalk, je nachdem die Schlacke kalkreicher oder kalkärmer war; mitunter wohl auch noch etwas mehr. Auf den Kalkerdegehalt der Schlacke bezogen, beträgt der Kalkzusatz die Hälfte bis zur gleichen Menge.

Zum Mischen kann man sich einer Kugelmühle bedienen, in welcher ein nochmaliges Mahlen des Gemisches stattfindet. Ein hoher Feinheitsgrad ist wichtig für die Güte des Erzeugnisses.

Als Beispiel der Zusammensetzung eines guten Schlackenzements führt Prost[2]) nachstehende Analyse eines Schlackenzements von Donjeux an:

Sand	0,25	v. H.
Kieselsäure	23,85	„
Tonerde	13,95	„
Eisenoxyd	1,10	„
Kalkerde	51,40	„
Magnesia	1,95	„
Schwefelsäure . . .	0,45	„
Glühverlust	7,05	„

---

[1]) Tetmajer a. a. O.; ebenso Detienne.

[2]) Vergleiche Literatur.

Auch zur Darstellung von Portlandzement wird die Hochofenschlacke ziemlich häufig benutzt. Portlandzement unterscheidet sich von dem Puzzolanzement dadurch, dafs die Rohstoffe, aus welchen er hergestellt wird, zunächst gemischt, dann gemeinschaftlich bis zum Sintern gebrannt und nun erst gemahlen werden[1]. Die Zusammensetzung des Portlandzements ist ungefähr folgende:

Kalkerde	55—63,	im Mittel 60	v. H.
Tonerde	6—10,	„ „ 7,5	„
Kieselsäure	22—26,	„ „ 24	„

Daneben kleine Mengen Eisenoxyd, Alkalien und andere Beimengungen.

In allen Fällen ist daher auch für diese Verwendung eine Anreicherung des Kalkerdegehalts und mitunter, jedoch selten, eine Anreicherung des Tonerdegehalts erforderlich. Man benutzt gekörnte Hochofenschlacke und Kalkstein, welcher zerkleinert und fein gemahlen wird. Die gekörnte Schlacke wird getrocknet, mit Hilfe eines Elektromagnets von eingemengten Eisenkörnchen befreit und ebenfalls fein gemahlen, um dann auf einer Maschine mit dem Kalkstein gemischt zu werden. Aus dem angefeuchteten Gemisch formt man auf einer Presse Ziegeln, welche nun bis zum Sintern gebrannt und dann gemahlen werden. Dieses Klinkermehl bildet den eigentlichen Portlandzement. Viele Fabriken mischen nun diesen Portlandzement noch mit feingemahlener Hochofenschlacke, und zwar auf 70 Teile Zement 30 Teile Schlacke, nachdem Versuche erwiesen haben, dafs eine Verschlechterung der Beschaffenheit dadurch nicht veranlafst wird. Dieses Gemisch von Portlandzement und Hochofenschlacke kommt unter dem Namen Eisenportlandzement in den Handel[2].

Schlackenziegel.

Die Herstellung von Schlackenziegeln, d. h. geformter, für bauliche Zwecke an Stelle gewöhnlicher Tonziegel bestimmter Steine, ist in den zahlreichen Fällen, wo die erforderlichen Vorrichtungen dafür einmal vorhanden sind, eine lohnende Verwendung der Hochofenschlacken, sofern nicht etwa örtliche Verhältnisse, z. B. ein ausnahmsweise niedriger Preis anderer Bausteine, der Verwendung der Ziegel hinderlich sind. Auch die Zusammensetzung der Schlacke mufs dafür mafsgebend sein, ob diese überhaupt für die genannte Verwendung sich eigne.

Die Verfahren zur Herstellung der Schlackenziegel sind verschieden. Am einfachsten ist das Verfahren, die Ziegel durch Eingiefsen der flüssigen Schlacke in Formen darzustellen. Man verarbeitet in dieser Weise mäfsig kalk- und tonerdereiche Schlacken,

---

[1] Die Darstellung des gewöhnlichen Portlandzements geschieht durch Mischen gemahlenen Kalksteins oder Kalkmergels und Tons in entsprechenden Gewichtsverhältnissen, Formen von Ziegeln, welche bis zum Sintern gebrannt und dann zu Pulver gemahlen werden.

[2] Näheres über das Verfahren hierbei und die Eigenschaften des Eisenportlandzements in den unter Literatur genannten Abhandlungen Jantzens, Passows u. a.

welche wegen ihrer Widerstandsfähigkeit gegen Witterungseinflüsse auch im rohen Zustande als Bausteine Verwendung finden. Hierbei kommt aber in Betracht, dafs die Schlacke um so spröder wird, je rascher man sie abkühlt. Auch wenn man den einzelnen Ziegeln die vielfache Gröfse eines gewöhnlichen Tonziegels geben wollte, würde doch leicht ein Zerspringen eintreten, da wegen der rascheren Abkühlung der äufseren Teile Spannung entsteht. Zur Vermeidung oder wenigstens Abminderung des Übelstandes gibt es verschiedene Wege. Auf einigen Werken bringt man die glühenden geformten Steine in Temperöfen, in welchem sie, wie Glaswaren, einer allmählichen Abkühlung während einiger Tage unterworfen werden. Hierdurch wird aber die Herstellung verteuert. Auf anderen Werken mischt man, um das Zerspringen der Steine zu verhüten, die noch flüssige Schlacke mit Körpern, welche ähnlich wie die Magerungsmittel bei der Verarbeitung des Tons wirken: Koks- oder Holzkohlenlösche groben Quarzkörnern, Ziegelstücken oder dergleichen. Indem diese Körper die Menge der Schlacke verringern, welche zur Ausfüllung der Form notwendig ist, führen sie die Schwindung beim Abkühlen auf ein geringeres Mafs zurück; sie vermindern auch unmittelbar die Sprödigkeit des Schlackenkörpers, indem sie diesen durch ihre Einlagerung gewissermafsen auflockern, die Entstehung von Sprüngen erschweren und die Ausdehnung der entstandenen Risse auf ein kürzeres Mafs beschränken. Das Einmischen jener Körper geschieht mit Hilfe einer Schaufel in der Schlackenrinne, durch welche die Schlacke in die Gufsform einläuft. Letztere wird aus vier gufseisernen Seitenplatten hergestellt, welche sich leicht auseinandernehmen lassen, senkrecht auf einer gufseisernen Bodenplatte stehen und durch einen aufgelegten Deckel, der nach Bedürfnis durch Gewichtsstücke beschwert werden kann, geschlossen werden. Auch bei diesem Verfahren ist eine möglichst langsame Abkühlung der Schlackensteine von Vorteil.

Die sehr kieselsäurereichen Schlacken mancher Holzkohlenhochöfen, welche überhaupt nicht dünn fliefsen, vor der völligen Erstarrung aber einen weichen, bildsamen Zustand durchlaufen (saigere Schlacken), gestatten jedoch wegen ihrer dickflüssigen Beschaffenheit nicht eine Verarbeitung durch Giefsen. In folgender Weise jedoch lassen sich auch aus diesen brauchbare Ziegel herstellen. Die halbflüssige Schlacke wird, wenn sie mit der Schaufel aus dem Herde des Ofens entfernt ist, auf einer eisernen, als Bodenbelag dienenden Platte oberflächlich abgekühlt, so dafs ein formloser Schlackenkuchen entsteht, der zwar noch bildsam, äufserlich aber doch schon halb erstarrt ist. In diesem Zustande knetet man nun die Schlacke mit der Schaufel und unter Benutzung einer hölzernen Stange in die bereitstehende, aus vier gufseisernen Seitenplatten auf gufseiserner Bodenplatte bestehende Form, indem man Vorsorge trifft, dafs die schon am meisten abgekühlten Stellen des Schlackenklumpens in die Mitte der Form gedrückt werden, die heifseren Teile an die Wände kommen. So erzielt man eine gleichmäfsige Abkühlung und vermeidet das Zerspringen. Derartige Ziegel besitzen, für Wohngebäude, Fabrikräume und der-

gleichen benutzt, eine ausreichende Haltbarkeit; werden sie aber vor dem Einmauern der Einwirkung starken Frostes ausgesetzt, so zerspringen sie leicht, und sie müssen deshalb möglichst bald verwendet werden.

In allen den besprochenen Fällen empfiehlt es sich, für die Schlackenziegel gröfsere Abmessungen als für gewöhnliche Ziegel zu nehmen. Teils verzögert man dadurch die Abkühlung, teils spart man bei der Verwendung Arbeit und Mörtel. Damit aber die Möglichkeit nicht ausgeschlossen sei, gewöhnliche Ziegelsteine neben den Schlackenziegeln und in Verband mit ihnen zu verwenden, was in Rücksicht auf die gröfsere Sprödigkeit der Schlackenziegel an einzelnen der Beschädigung vorzugsweise unterworfenen Stellen der Gebäude (Ecken, Tür- und Fensteröffnungen usw.) zweckmäfsig sein kann, empfiehlt es sich, die Abmessungen der Schlackenziegel so zu wählen, dafs jede einzelne in einem einfachen Verhältnisse (doppelt, dreifach, vierfach) zu der betreffenden Abmessung der gewöhnlichen Ziegel einschliefslich der Mörtelfuge steht.

Häufiger als diese Verfahren ist jedoch das nachstehend beschriebene in Anwendung. Es eignet sich zwar nur für die Verarbeitung kalkreicherer Schlacken und ist deshalb vornehmlich in Verbindung mit dem Kokshochofenbetriebe eingeführt[1]), liefert aber Erzeugnisse von ungleich höherem Werte als jene älteren Verfahren. Es wurde im Anfange der sechziger Jahre des vorigen Jahrhunderts durch Lürmann auf der Georgs-Marienhütte bei Osnabrück ausgebildet; später entstand für den umfangreicheren Betrieb eine gröfsere Fabrik in Osnabrück, welcke die Schlacke für die Ziegeldarstellung von den Georgs-Marienhütter Hochöfen bezog, und seitdem ist das Verfahren bei zahlreichen anderen Hochofenwerken zur Anwendung gekommen.

Die Schlacke wird zunächst in der oben beschriebenen Weise durch Einleiten in fliefsendes Wasser gekörnt, also in Schlackensand verwandelt. Dieser Schlackensand dient ohne weiteres als Stoff für Herstellung gewöhnlicher Mauerziegel; für Ziegel jedoch, von denen man ein sehr vollendetes Äufsere verlangt, wird er fein gemahlen. Alsdann mischt man ihn im noch feuchten Zustande mit gebranntem ungelöschtem Kalke in einem Verhältnisse, welches teils von der chemischen Zusammensetzung, insbesondere dem Kalkerdegehalte, teils auch von den Ansprüchen abhängt, welche an die Festigkeit des fertigen Steins gestellt werden. Nach Lürmann[2]) erfordern 1000 Stück Schlackenziegel von deutscher Normalgröfse ($250 \times 150 \times 65$ mm) 3000 bis 3500 kg gekörnte Schlacke mit 25 bis 30 v. H. Wassergehalt und 275 bis 350 kg gebrannten Kalk. Auf 100 kg Schlacke kommen demnach 9 bis 10 kg gebrannter Kalk[3]). Ein Zusatz von Wasser ist nicht erforderlich,

[1]) Nach Lürmann eignen sich dafür am besten Schlacken, welche bei der Erzeugung von gaarem Thomas- oder Puddelroheisen gefallen sind; ganz unbrauchbar sind Schlacken vom Rohgange („Stahl und Eisen“ 1897, S. 997).

[2]) „Stahl und Eisen“ 1897, S. 998.

[3]) 1 cbm gekörnte Schlacke wiegt 550 bis 750 kg; 1000 Ziegel erfordern also 5 bis 6 cbm Schlacke. 1 cbm gebrannter Kalk wiegt ungefähr 1000 kg.

da die gekörnte Schlacke mehr Wasser mitbringt, als für die Bindung notwendig ist. Das Mischen der Schlacke mit dem Kalk geschieht in einer geeigneten Maschine.

Das Gemisch von Kalk und Schlacke kommt nun in eine gufseiserne, mit Stahlplatten ausgelegte Form, welche die Abmessungen des herzustellenden Ziegels besitzt, und wird hier einem kräftigen Drucke ausgesetzt. Für den Betrieb dieser Presse benutzt man Dampfkraft, da Handarbeit nicht imstande ist, den zur Erzielung grofser Festigkeit erforderlichen Druck hervorzubringen, auch für grofse Erzeugungen zu kostspielig ausfallen würde. Die Presse bewirkt selbsttätig die Zuführung der Schlacke in die Form und das Ausheben des geprefsten Ziegels. Auf einer Presse können in zehnstündiger Schicht 8000 Ziegel geformt werden[1]).

Die geprefsten Ziegel werden zum Zwecke der Erhärtung unter einem Dache der Einwirkung der Luft ausgesetzt. Nach 6 bis 8 Tagen bringt man sie ins Freie, um für neu gefertigte Ziegel Platz zu machen, und nach 5 bis 6 Wochen sind sie steinhart, für den Gebrauch fertig.

Vor den gebrannten Tonziegeln besitzen die nach diesem Verfahren gefertigten Schlackenziegel mancherlei Vorzüge. Die aus gekörnter (nicht gemahlener) Schlacke hergestellten Ziegel sind leichter als Tonziegel bei ungefähr gleicher Festigkeit; die aus gekörnter und gemahlener Schlacke hergestellten sind zwar ebenso schwer als gebrannte Tonziegel, aber fester. Versuche, in den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts mit verschiedenen Ziegeln angestellt[2]), ergaben als Bruchbelastung auf 1 qcm:

	beim Beginn des Reifsens	bei völliger Zerstörung
Osnabrücker Schlackenziegel aus gekörnter Schlacke	92,4	110,5
Siegener Schlackenziegel aus gekörnter Schlacke . .	116,2	148,3
Siegener Schlackenziegel aus gekörnter und gemahlener Schlacke	144,9	186,2
Siegener gebrannte Tonziegel	58,9	90,9
Dergl. hartgebrannte	84,6	97,8
Dergl. ausgesuchte	95,2	117,2
Osnabrücker gewöhnliche Tonziegel	67,9	87,9
Dergl. hartgebrannte	89,0	107,3

Andere Versuche über die Festigkeit der Schlackenziegel ergaben Bruchbelastungen von 129 bis 155 kg auf 1 qcm[3]). Nach Lürmann zeigen gut erhärtete Mauersteine aus gekörnter Hochofenschlacke bei 80 bis 92 kg Belastung auf 1 qcm Risse und werden bei 92 bis 110 kg Belastung zerstört. Dagegen besafsen Schlackenziegel, die mit der Handpresse gefertigt waren, nur eine Festigkeit von 31 kg beim Beginne des Reifsens und 32,1 kg bei völliger Zerstörung.

Mit dem Alter der Schlackenziegel wächst ihre Festigkeit ebenso wie diejenige des Mörtels.

---

[1]) Die Einrichtung dieser Steinpressen im einzelnen ist nicht überall gleich. Für die meisten deutschen Werke lieferte die Firma Brück, Kretschel & Co. in Osnabrück die Pressen.

[2]) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure, Band 19, S. 186.

[3]) Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1891, S. 350.

Die Porigkeit und Durchlässigkeit (Permeabilität) der Schlackenziegel ist nach Versuchen von Prof. Pettenkofer gröfser als die der Tonziegel, welcher Umstand bei ihrer Verwendung für Wohngebäude nicht unwichtig ist. Unter gleichem Drucke liefsen trockene Schlackenziegel die vier- bis fünffache Menge Luft hindurch als Tonziegel.

Die gut erhärteten Schlackenziegel ertragen ziemlich starke Erhitzungen (angeblich bis zur dunkeln Rotglut), ohne zerstört zu werden.

Setzt man der gemahlenen und mit Kalk vermischten Schlacke noch färbende Körper zu, so lassen sich Nachahmungen natürlich vorkommender Gesteine erzeugen. Man fertigt bisweilen Nachahmungen von Marmor, Diabas und anderen Gesteinen, schleift und poliert die erhärteten Gegenstände und benutzt sie für bauliche und andere Zwecke (Verkleidungen, Grabdenkmäler, Tischplatten und dergleichen mehr).

Glasdarstellung.

Bei der Ähnlichkeit, welche die Zusammensetzung mancher für gewöhnliche Zwecke benutzten Gläser, insbesondere des Flaschenglases, mit der Zusammensetzung der Hochofenschlacken besitzt, liegt der Gedanke nahe, die letzteren unter Anwendung entsprechender Zusätze für die Glasdarstellung zu verwenden. Die Zusammensetzung des Flaschenglases ist ungefähr folgende:

Kieselsäure	45—60 v. H.
Kalkerde	18—28 „ „
Magnesia	0— 7 „ „
Tonerde	6—12 „ „
Alkali	2— 7 „ „
Eisenoxydul	2— 6 „ „

und es bedarf deshalb oft nur geringer Zusätze, vornehmlich von Kieselsäure und Alkalien, zur Hochofenschlacke, um eine gleiche Zusammensetzung zu erzielen. Manche Holzkohlenhochofenschlacken erstarren in dünneren Querschnitten ohne weiteres mit allen Merkmalen grünlichen Glases. Bisweilen hat man deshalb die Hochofenschlacke durch Lieferung an die Glasfabriken verwertet, welche sie in ihren Schmelzöfen mit Alkalien und Sand, färbenden und entfärbenden Stoffen, je nach Beschaffenheit des herzustellenden Glases, versetzten[1]).

3. Gichtschwamm.

Der Entstehung dieses, auch zinkischer Anbruch oder Ofenbruch genannten Körpers wurde bereits mehrfach gedacht. Sie wird veranlafst durch Reduktion und Verflüchtigung von Zink in dem unteren Teile des Hochofens. Durch den an Kohlendioxyd und Wasserdampf immer mehr sich anreichernden Gasstrom wird

[1]) Zeitschr des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1877, Seite 407.

nun das dampfförmige Zink allmählich wieder oxydiert und setzt sich in einiger Entfernung unterhalb der Gicht ringsum an den Wänden fest, hier einen Ring bildend, dessen Stärke mehr und mehr zunimmt. Bricht man den Gichtschwamm los, so findet man einen Körper von graugrüner Farbe und schiefrigem Gefüge, dessen Spaltungsflächen parallel den Ofenwänden liegen. Die Analyse ergibt vorwiegend Zinkoxyd; daneben Eisenoxydul, mitunter etwas metallisches Blei und eingemengten Sand. Beispiele der Zusammensetzung sind folgende:

	I	II
SiO_2 . . .	3,07	—
Mn_3O_4 . .	0,29	—
Fe_2O_3 . . .	3,73	3,00
P_2O_5 . . .	0,32	—
SO_3 . . .	0,24	—
Al_2O_3 . . .	0,47	—
CaO . . .	2,35	—
PbO . . .	—	1,60
Pb	—	1,40
PbS . . .	—	1,60
ZnO . . .	90,23	91,60
Sand . . .	—	0,80

I ist Gichtschwamm aus einem Luxemburger Hochofen, nach Blum („Stahl und Eisen" 1897, S. 985).

II ist Gichtschwamm aus dem Hochofen zu Treveray, nach Ebelmen (Trav. Scient. I S. 304; daraus in Percy-Wedding Eisenhüttenkunde, Abt. 2, S. 760).

Die Stelle, wo im Hochofen der Gichtschwamm gefunden wird, ist von der Höhe des Ofens und von der Gichttemperatur abhängig und befindet sich meistens 1 bis 3 m unter der Gicht.

Damit nicht durch den angesetzten Gichtschwamm der Ofenquerschnitt sehr verengt werde, und hauptsächlich auch, damit nicht gröfsere Mengen des Gichtschwammes sich von selbst ablösen, mit der Beschickung nach unten gehen und nachteilig auf den Ofengang und die Roheisenbeschaffenheit einwirken (S. 190), ist es bei Öfen, welche zinkreiche Erze verarbeiten, notwendig, von Zeit zu Zeit den Gichtschwamm loszubrechen und durch die Gicht aus dem Ofen zu entfernen. Das hierbei angewendete Verfahren wurde schon auf S. 179 beschrieben.

Der Gichtschwamm wird an die Zinkhütte zur Verarbeitung auf metallisches Zink geliefert. Manche Hochöfen, z. B. in Oberschlesien, liefern jährlich an 30 t Gichtschwamm.

4. Blei.

Des Verfahrens, durch welches bei Hochöfen, welche bleiische Erze verhütten, das Blei gewonnen werden kann, wurde bereits mehrfach gedacht (S. 380 I, 191); auch dafs dieses Blei silberhaltig zu sein pflegt, wurde erwähnt. Bei einigen Hochöfen ist die Menge des im Laufe eines Jahres gewonnenen Bleies nicht unbeträchtlich und kann 50 t betragen.

5. Gichtstaub.

An den kälteren Teilen der Gicht, in den Gasleitungsröhren, in den Winderhitzern, in den Zügen der Dampfkesselöfen setzt sich ein weifslicher oder gelblicher, staubförmiger Beschlag ab, welcher teils aus mechanisch mitgerissenen, teils aus ursprünglich flüchtigen und später verdichteten Körperchen besteht. Manche dieser Körperchen waren zweifellos in anderer Form in dem Gasstrome als in dem abgelagerten Staube enthalten und wurden erst durch Oxydation oder sonstige chemische Einwirkungen umgewandelt. Die Vorrichtungen, welche angewendet werden, um diesen Staub, wenn seine Menge beträchtlich ist, zur Ablagerung zu bringen, haben früher bereits Besprechung gefunden.

Nicht nur die Menge, sondern auch die chemische Zusammensetzung des Gichtstaubes zeigt bei verschiedenen Hochöfen Abweichungen. Regelmäfsig enthält er Kieselsäure, welche zum Teil aus mitgerissenem Erzstaube stammt, zum anderen Teile aber auch durch Oxydation flüchtiger Siliciumverbindungen entstanden sein kann; fast ebenso regelmäfsig finden sich Alkalien, teils als Cyanide, teils als Chloride, Sulfate oder Carbonate, letztere höchstwahrscheinlich durch Zersetzung von Cyaniden entstanden, während Sulfate aus der Umwandlung von Sulfiden hervorgegangen sind; Eisenoxyd, Kalkerde, Magnesia sind ebenfalls regelmäfsig vorkommende Bestandteile, und zwar zum gröfsten Teil einfach mitgerissen[1]; bei Verhüttung zinkischer Erze aber findet sich auch in dem Gichtstaube ein mitunter beträchtlicher Zinkoxydgehalt und bei Verhüttung bleiischer Erze ein Bleioxydgehalt.

Beispiele der Zusammensetzung solchen Gichtstaubes oder Gichtrauches sind folgende[2]:

	I	II	III	IV	V		VI
SiO_2	35,88	52,66	24,05	7,45	10,10		27,50
CaO	16,64	4,12	25,95	3,14	8,20		12,20
MgO	1,97	Sp.	2,81	2,90	0,79	BaO	1,57
Fe_2O_3	3,46	23,70	0,91	20,41	29,50		8,516
MnO	2,40	3,04	0,87	1,34	0,50	Mn_3O_4	31,90
Al_2O_3	4,94	2,26	10,09	2,07	10,78		3,31
ZnO	2,28	—	1,30	26,88	7,45		1,70
PbO	—	—	—	13,65	n. best.		
K_2O, Na_2O	12,84	5,02	26,58	7,96	2,17		
SO_3	20,89	4,01	—	—	0,58		
P_2O_5	0,10	—	—	—	1,63		
CO_2	—	n. best.	n. best.	4,36	—		n. best.
C	—	—	—	7,04	13,74		
S	—	—	1,71	0,24	—		
Cl	Sp.	Sp.	—	—	—		

I. Holzkohlenhochofen zu Rothehütte (Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Band 19, S. 74).

II. Holzkohlenhochofen zu Gröditz, mit Rasenerzen betrieben. Untersuchung des Verfassers.

[1] Eisenoxyd kann auch durch Umwandlung verflüchtigten Eisenchlorides entstanden sein.

[2] Eine grofse Zahl sonstiger Beispiele enthält „Stahl und Eisen“ 1898, S. 260 (Lürmann).

III. Kokshochofen zu Mülheim a. d. Ruhr („Stahl und Eisen" 1882, S. 216).
IV. Kokshochofen zu Gleiwitz in Oberschlesien (Zeitschr. für Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Band 12, S. 266).
V. Kokshochofen zu Esch, mit Minette betrieben („Stahl und Eisen" 1890, S. 593).
VI. Gichtstaub eines auf Eisenmangan betriebenen Hochofens. Nach Valton (Ledebur, Métallurgie du fer, Band II, S. 129).

Läfst man den Staub in längeren Leitungen sich absetzen, so findet man in verschiedener Entfernung vom Hochofen abweichende Zusammensetzung, entsprechend den Unterschieden im spezifischen Gewichte und der Korngröfse der Bestandteile. Bei einem Hochofen der Redenhütte enthielt z. B. dieser Gichtstaub[1]:

	im 1. Staubsacke	im 2. Staubsacke	im 3. Staubsacke	im 4. Staubsacke	im 5. Staubsacke	in den Kanälen
SiO_2	22,56	14,17	10,66	10,41	7,49	10,28
Zn	19,44	25,92	30,45	32,00	35,32	42,40
Pb	8,50	7,92	7,18	6,89	7,24	6,13
Fe	14,17	12,45	7,45	6,72	3,99	n. best.

Reinigt man die Gase, indem man sie durch Wasser leitet, so werden die löslichen Salze von diesem aufgenommen und lassen sich beim Eindampfen gewinnen. Eine im Laboratorium des Verfassers angestellte Untersuchung eines solchen Eindampfrückstandes vom Hörder Hochofen ergab:

Rhodanammon	0,69 v. H.
Chlornatrium	13,02 " "
Chlorkalium	19,26 " "
Chlormagnesium	10,95 " "
Chlorammonium	6,59 " "
Eisenchlorid	0,54 " "
Manganchlorür	0,10 " "
Calciumsulfat	5,27 " "
Kaliumsulfat	31,14 " "
Kieselsäure	0,64 " "
Eisenoxyd	1,47 " "
Wasser	9,92 " "
	99,59 v. H.

Sofern der Gichtstaub reich genug an Zink oder Blei ist, um eine Verarbeitung auf diese Metalle lohnend erscheinen zu lassen, wird er gesammelt und an Zink- oder Bleihütten geliefert. Manche Hochöfen vermögen jährlich an 200 t solchen Staubes zu verkaufen. Enthält der Gichtstaub lösliche benutzungsfähige Bestandteile, z. B. Kaliumsulfat, in gröfserer Menge, so wird er mitunter auf diese verarbeitet; in anderen Fällen fährt man ihn als wertlos auf die Halde.

[1] „Stahl und Eisen" 1886, S. 536.

6. Zufällige Nebenerzeugnisse.

Nebenerzeugnisse, welche zwar keine wirtschaftliche Bedeutung besitzen, wohl aber manches Streiflicht auf die Eigentümlichkeiten des Hochofenschmelzens zu werfen imstande sind, finden sich ziemlich häufig. Besonders reich daran pflegt der nach dem Ausblasen des Hochofens im Herde zurückbleibende Eisenklumpen, die Ofensau genannt, zu sein. Schon das Eisen dieser Sau an und für sich zeigt wegen der sehr langsamen Abkühlung, welcher es unterworfen war, manches Bemerkenswerte. Gewöhnlich ist es kohlenstoffarm, schmiedeeisenartig, mit grobblättrigem Gefüge. An anderen Stellen, besonders da, wo ein kohlenstoffreicheres Eisen mit kieselsäurereichen Teilen der Gestellwände in Berührung war und sehr langsam erstarrte, finden sich Stücke, deren Gefüge an das des Spiegeleisens erinnert, die jedoch mit Graphit bedeckt sind und deren Analyse nur einen geringen Kohlenstoffgehalt ($1^1/_2$ bis $2^1/_2$ v. H.) bei hohem Siliciumgehalt (3 bis 4 v. H.) nachweist. Diese Ofensau enthält auch jene auf S. 379 I erwähnten roten Würfel von Cyan-Stickstofftitan, die man in alter Zeit für metallisches Kupfer, später für metallisches Titan hielt, bis Wöhler ihre Zusammensetzung ermittelte. Sie lassen sich von dem Eisen, welches von ihnen durchwachsen ist, trennen und sammeln, wenn man das Eisen in Salzsäure auflöst.

Mitunter findet sich an einzelnen Stellen des ausgeblasenen Hochofens haarförmig oder nadelförmig kristallisierte Kieselsäure, vermutlich durch Zersetzung von Siliciumsulfild (S. 351 I) entstanden. Häufig treten auch Silikate des Zinks, in Nadeln kristallisiert, teils zwischen den Fugen der Gestellwände, teils als Überzug derselben, teils in der Ofensau auf; oder hexagonal kristallisiertes Zinkoxyd (Rotzinkerz).

Zu den zufälligen Nebenerzeugnissen des Hochofenbetriebes kann auch Cyankalium gerechnet werden, welches zwar regelmäfsig in den Öfen gebildet wird und beim Aufsteigen zum grofsen Teile wieder zerfällt, mitunter aber auch an einzelnen Stellen des Ofens sich sammelt. In einer vermauerten Formöffnung des Hörder Hochofens fand sich ein weifses Salz, welches nach meiner Untersuchung 34 v. H. Kaliumcarbonat, höchstwahrscheinlich aus der Zersetzung von Cyankalium hervorgegangen, 9 v. H. Chlorkalium, 27 v. H. Zinkoxyd, übrigens Eisen, Mangan, Kalkerde u. a. m. enthielt. Bei dem Holzkohlenhochofen zu Mariazell sammelte sich in den vierziger Jahren des vorigen Jahrhunderts Cyankalium in solcher Menge an der Aufsenseite einer in der Brust angebrachten Öffnung — eines sogenannten Lichtloches, aus welchem man während der Nacht eine Flamme zur Beleuchtung der Hütte austreten liefs —, dafs es gesammelt und zu galvanischen Arbeiten verwendet werden konnte[1]). Auch in den Gasleitungsröhren dieses Hochofens wurde Cyankalium in reichlicher Menge gefunden.

---

[1]) Annalen der Chemie und Pharmazie, Band 47 (1843), S. 150; Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abteilung II, S. 261.

Literatur.

Abhandlungen.

F. W. Lürmann, Verwendung der Hochofengase zur unmittelbaren Krafterzeugung. „Stahl und Eisen" 1898, S. 247, 495; 1899, S. 473, 517; 1901, S. 433, 1154 (mit Analysen von Gichtgasen und Gichtstaub).

F. Zeyringer, Die Ausnutzung der Hochofengase. „Stahl und Eisen" 1899, S. 664.

B. H. Thwaite, On the profitable utilisation of power from blast-furnace gases. The Journal of the Iron and Steel Institute 1901 II, S. 149.

F. W. Lürmann, Über Hochofenschlacken und deren Verwendung. Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins für Hannover, Bd. 13, S. 297; Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Bd. 12, S. 32.

F. W. Lürmann, Über die Fortschritte der Schlackenfabrikation in Osnabrück und über andere Schlackenpräparate. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Bd. 19 (1875) S. 185; Polyt. Zentralbl. 1875, S. 695.

F. W. Lürmann, Mauersteine aus granulierten Schlacken. „Stahl und Eisen" 1897, S. 991.

Ch. Wood, The utilisation of slag. The Journal of the Iron and Steel Institute 1873, S. 186.

Ch. Wood, On the progrefs of the slag industries during the last four years. The Journal of the Iron and Steel Institute 1877 II, S. 443; Dinglers polyt. Journal, Bd. 230, S. 440.

M. Paulovich, Über die Verwertung der Hochofenschlacken für Bauzwecke. Österr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1891, S. 333.

L. Tetmajer, Der Schlackenzement. Notizblatt des Ziegler- und Kalkbrenner-Vereins 1887, Nr. 2.

A. Prost, Note sur la fabrication et les propriétés des ciments de laitiers. Annales des mines, Reihe 8, Bd. 16, S. 158; auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1890, S. 523.

Zur Kenntnis des Schlackenzements. Tonindustrie-Zeitung 1892, Nr. 2.

H. Detienne, Note sur la fabrication et les propriétés du ciment de laitier. Revue universelle des mines, Reihe 3, Band 39 (1897), S. 237.

E. May, Der Schlackenzement, seine Herstellung und Eigenschaften. „Stahl und Eisen" 1898, S. 205, 320.

Kämmerer, Portlandzement aus Hochofenschlacke nach dem von Forellschen Verfahren. „Stahl und Eisen" 1899, S. 1087.

Dr. C. Steffens, Portlandzement aus Hochofenschlacke nach dem Forellschen Verfahren. „Stahl und Eisen" 1900, S. 1170.

A. Birk, Über Schlackenzement. „Stahl und Eisen" 1900, S. 886.

Jantzen, Die Verwertung der Hochofenschlacke zu Eisen-Portlandzement. Verhandl. d. Ver. f. Beförderung des Gewerbfleifses 1903, S. 19; „Stahl und Eisen" 1903, S. 361.

H. Passow, Portlandzement und Hochofenschlacke. „Stahl und Eisen" 1903, S. 878.

H. Passow, Neue Untersuchungen über Hochofenschlacke. „Stahl und Eisen" 1905, S. 1128.

C. Canaris, Hochofenschlacke und Zement im Lichte der Zulkowskischen Theorie. „Stahl und Eisen" 1904, S. 813.

H. Seger und E. Cramer, Hochofenschlacke und Portlandzement. „Stahl und Eisen" 1905, S. 711.

Th. Klehe, Hochofenschlacke und Portlandzement. Zeitschr. f. angewandte Chemie 1905, S. 933.

O. Schwabe, Hochofenschlacke und Portlandzement. Zeitschr. f. angewandte Chemie 1905, S. 1265.

Otto Vogel, Verwendung von Hochofenschlacken zu Bauzwecken. „Stahl und Eisen" 1898, S. 178 (enthält vorwiegend geschichtliche Mitteilungen).

Chr. Meinecke, Chlorverbindungen im Hochofen. Berg- und hüttenm. Ztg. 1875, S. 47.
G. Williger, Bleigewinnung im Hochofen. Berg- und hüttenm. Ztg. 1882, S. 81.
L. Franck, Untersuchung eines interessanten Hochofenerzeugnisses. „Stahl und Eisen" 1897, S. 449, 485.

VIII. Das Umschmelzen und die Läuterung des Roheisens.

1. Das Umschmelzen.

A. Allgemeines.

Nicht in allen Fällen schliefst sich die Verarbeitung des Roheisens unmittelbar an dessen Darstellung im Hochofen an, mag sie nun die Darstellung von Gebrauchsgegenständen durch Giefsen des flüssigen Roheisens in Formen (Eisengiefserei) oder eine Umwandlung des Roheisens in schmiedbares Eisen durch irgend eins der in der dritten Abteilung dieses Buches beschriebenen Frischverfahren bezwecken. Obgleich diese weitere Verarbeitung fast ausnahmslos im flüssigen Zustande des Roheisens geschieht, und man demnach bei unmittelbarer Aufeinanderfolge der Darstellung und Verarbeitung die Kosten für das Umschmelzen des Roheisens ersparen würde, entspricht doch weder die Menge des bei einem vorhandenen Hochofenbetriebe erfolgenden Roheisens noch seine Zusammensetzung (welche nach Früherem auch bei einem und demselben Hochofen öfters einem unbeabsichtigten Wechsel unterworfen ist) immer genau den Ansprüchen, welche das Verarbeitungsverfahren stellt. Häufig mischt man mehrere Roheisensorten, um sie gemeinschaftlich zu schmelzen und hierdurch ein Zwischenerzeugnis zu erlangen, welches besser als die einzelne Sorte für das betreffende Verfahren sich eignet; bisweilen würden auch örtliche Verhältnisse es nicht einmal gestatten, die Anlagen für die Darstellung und für die Verarbeitung des Roheisens einander so nahe zu bringen, dafs jene unmittelbare Aufeinanderfolge beider Verfahren überhaupt stattfinden kann.

In solchen Fällen sind also Schmelzöfen erforderlich, in welchen das Roheisen aufs neue geschmolzen wird. Wo eine Umwandlung des Roheisens in schmiedbares Eisen der Zweck der Verarbeitung ist, benutzt man mitunter den nämlichen Ofen, in welchem diese Arbeit vorgenommen wird, auch zum vorausgehenden Schmelzen des Roheisens; die Einrichtung dieser Öfen wird in Abteilung III Besprechung finden. In anderen Fällen dagegen bedient man sich für das Umschmelzen des Roheisens besonderer Öfen, deren einziger Zweck eben dieses Umschmelzen ist; das Roh-

eisen geht wiederum als solches aus dem Ofen hervor, um dann erst weiter verarbeitet zu werden, sei es durch Eingiefsen in Formen zu Eisengufswaren, sei es durch ein Frischverfahren in einem besonderen Ofen zu schmiedbarem Eisen.

Auch bei diesem Umschmelzen läfst sich jedoch eine chemische Beeinflussung des Roheisens nicht ganz vermeiden. Häufig findet eine Oxydationswirkung unter Einwirkung der Verbrennungsgase auf das schmelzende Metall statt, und die Folge davon ist, dafs einzelne Körper, z. B. Mangan oder Silicium ganz oder teilweise ausgeschieden werden; aber auch eine Aufnahme von Fremdkörpern (Kohlenstoff, Schwefel, Silicium) kann stattfinden, sofern die Berührung des Roheisens mit den Brennstoffen oder mit den Ofenwänden Gelegenheit dazu gibt. Von den Eigentümlichkeiten des angewendeten Schmelzverfahrens sind diese eintretenden Änderungen abhängig; bei der Auswahl des zum Verschmelzen bestimmten Roheisens und bei der Leitung des Schmelzverfahrens aber müssen sie Berücksichtigung finden, damit das Schmelzerzeugnis den gestellten Anforderungen entspreche.

B. Das Schmelzen in Tiegeln.

a) Allgemeines.

Das Verfahren ist das älteste zum Umschmelzen des Roheisens [1]) und findet jetzt noch in solchen Fällen Benutzung, wo entweder nur sehr kleine Mengen Roheisens in einem Male geschmolzen, oder wo chemische Beeinflussungen des Roheisens durch die Berührung mit den Brennstoffen oder Verbrennungsgasen nach Möglichkeit ferngehalten werden sollen. Es ist aber wegen des Verbrauches der Tiegel und der ungünstigen Ausnutzung des Brennstoffs kostspielig; wo also jene besonderen Gründe für seine Beibehaltung nicht vorliegen, zieht man die später zu besprechenden Verfahren für das Umschmelzen des Roheisens vor.

Die Tiegel werden aus feuerfestem Ton mit Zusatz von Graphit nach demselben Verfahren gefertigt, welches in der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde bei der Besprechung der Tiegelstahlerzeugung geschildert ist. Ihr Fassungsraum richtet sich nach dem Bedarfe an flüssigem Roheisen, sowie der Einrichtung des Schmelzofens und kann 10 bis 300 kg betragen.

b) Die Tiegelöfen.

Die einfachste und zum Roheisenschmelzen noch häufig angewendete Form eines Tiegelofens ist ein niedriger Schacht, unten durch einen Rost abgeschlossen, auf dem die Tiegel stehen, um

---

[1]) Zum Schmelzen von Gold, Silber, Bronze war das Tiegelschmelzen schon bei den Kulturvölkern des Altertums in Gebrauch. In einem durch Gebläse angefachten Holzkohlenfeuer wurden die Tiegel erhitzt. Eine Abbildung eines Tiegelschmelzfeuers im alten Theben enthält u. a. Beck, Geschichte des Eisens, Band I, S. 75.

durch ringsherum eingeschüttete Koks, seltener Holzkohlen, erhitzt zu werden. Man hat Öfen für einen und mehrere Tiegel; da aber die Schwierigkeit, mehrere Tiegel gleichmäfsig zu erhitzen, mit ihrer Anzahl wächst, geht man selten über vier bis fünf, niemals über neun Tiegel hinaus. Der Querschnitt durch den Schacht ist kreisförmig, quadratisch oder rechteckig.

Die Tiegel müssen aus den Öfen dieser Art nach beendigtem Schmelzen mit einer Zange herausgehoben und an den Ort befördert werden, wo das Ausgiefsen stattfinden soll. Da hierbei die Gefahr des Zerbrechens der Tiegel mit dem Gewichte des darin befindlichen Metalls zunimmt, wendet man nicht gern Tiegel mit einem gröfsern Fassungsraume als für 65 kg an, und begnügt sich in der Regel mit Tiegeln für höchstens 40 kg Inhalt.

Einen solchen Tiegelschachtofen für zwei Tiegel zeigen die Abb. 224 und 225 a. f. S.

Da die Temperatur unmittelbar über dem Roste, wo die kalte Luft eintritt, verhältnismäfsig niedrig ist, würde der Fufs des Tiegels, wenn man diesen unmittelbar auf den Rost stellen wollte, kalt bleiben. Man gibt deshalb jedem Tiegel einen Untersatz aus feuerfestem Ton, mitunter Käse genannt, dessen Höhe 7 bis 10 cm betragen kann. Die Höhe des Tiegelofens ist annähernd doppelt so grofs als die Höhe der Tiegel; die Weite wird derartig bemessen, dafs zwischen Tiegel und Ofenwand ein Raum von mindestens 60 mm bleibt. Der bequemeren Bedienung halber baut man wohl die Öfen, wie die Abbildung zeigt, vertieft in den Boden ein, so dafs nur die Gichtöffnung um einige Zentimeter herausragt. Damit in diesem Falle der Luftzug nicht leide, mufs neben dem Ofen ein ausreichend weiter Schacht angebracht sein, von welchem aus der Aschenfall zugänglich ist und welcher zugleich die Bedienung des Rostes ermöglicht. Um Unglücksfälle zu verhüten, deckt man den Schacht mit durchbrochenen Gufseisenplatten ab, welche sich leicht entfernen lassen.

Oberhalb der Tiegel befindet sich in der Rückwand des Ofens der Fuchs, welcher die Gase entweder nach einer unmittelbar hinter dem Ofen stehenden Esse oder, wie in der Abbildung, nach einem für mehrere Öfen gemeinschaftlichen Essenkanale führt. Bei Öfen mit länglichem Grundrisse verteilt man, um eine gleichmäfsigere Verbrennung zu erzielen, die Gase gern in zwei oder noch mehr Fuchskanäle, wie bei dem abgebildeten Ofen, so dafs hinter je einem Tiegel oder einer Tiegelreihe sich ein Fuchs befindet. Der Querschnitt der sämtlichen zu einem Ofen gehörenden Füchse beträgt $^{1}/_{8}$—$^{1}/_{4}$ des Ofenquerschnitts.

Damit nicht Luft durch die Gichtöffnung nach dem Fuchse hin angesaugt werde, hierdurch den Essenzug schwäche und eine Verbrennung der Kohlen schon im oberen Teile des Ofens herbeiführe, deckt man jene Öffnung durch einen Deckel ab, welcher aus einem Gufseisenrahmen mit eingesetzten feuerfesten Steinen bestehen kann. Bei kleineren Öfen hebt man ihn, wenn Brennstoff nachgeschüttet oder der Tiegel herausgenommen werden soll, vermittelst einer Handhabe ab; bei gröfseren Öfen richtet man ihn zum Aufklappen ein und befestigt an der vorderen Seite eine über

eine Rolle geführte Kette mit Gegengewicht, durch welches das Gewicht der Klappe ausgeglichen wird.

Bei der geringen Höhe, welche die Tiegelöfen besitzen, genügt die Wirkung einer Esse, den erforderlichen Luftzug hervorzubringen; aber damit sie ihren Zweck erfülle, mufs sie mindestens 10 m,

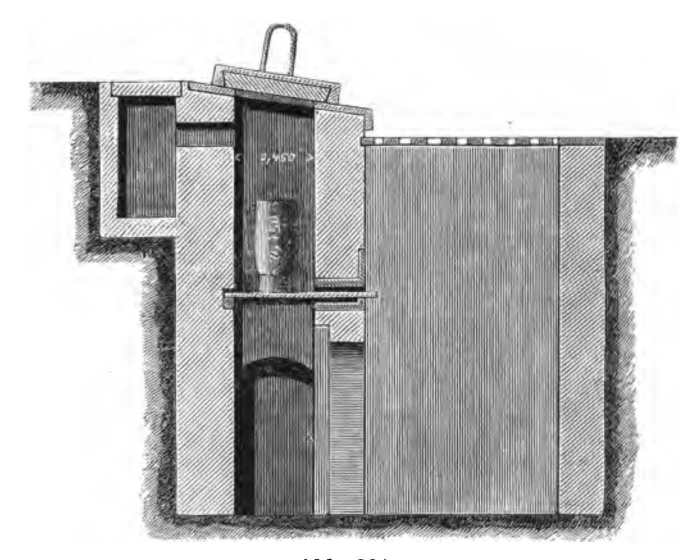


Abb. 224.

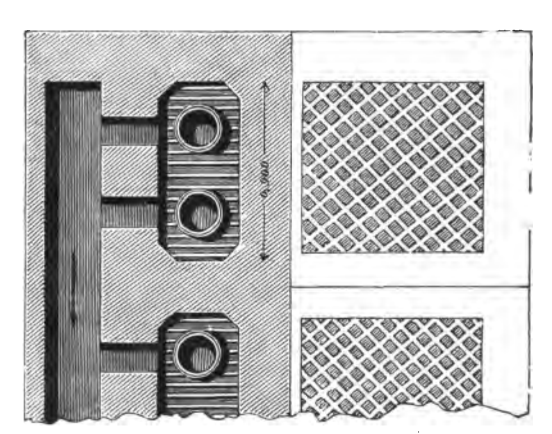


Abb. 225.

besser 15 m hoch und ihr Querschnitt gleich $^1/_6$—$^1/_8$ des Ofenquerschnitts sein. Durch Anbringung eines Schiebers läfst sich eine zu kräftige Wirkung der Esse abmindern; bei zu schwachem Essenzuge geht das Schmelzen langsam von statten, die Kohlenoxydbildung wird vermehrt, die Temperatur im Ofen bleibt niedrig und der Brennstoffverbrauch ist hoch. Daher benutzt man, zumal

in der Neuzeit, auch bisweilen Öfen mit Gebläsewind, so daſs der Verlauf des Schmelzens unabhängig von dem Essenzuge wird. Gewöhnlich stellt man auch bei diesen Öfen den Tiegel auf einen Rost und führt den Wind unter den Rost in den geschlossenen Aschenfall. Zur Ableitung der Gase genügt in diesen Fällen ein Rauchfang über dem Ofen.

Das bei solchen Öfen erforderliche Herausheben der Tiegel mit Hilfe einer Zange, nachdem das Metall geschmolzen und die Brennstoffschicht entsprechend weit gesunken ist, gibt zu ziemlich rascher Abnutzung der Tiegel unter der Einwirkung der Zange und der raschen Abkühlung nach dem Ausgieſsen Veranlassung. Auch die Gröſse der Tiegel ist, wie schon oben erwähnt wurde, hierdurch beschränkt, da die Gefahr einer Beschädigung während ihrer Beförderung mit ihrem Gewichte zunimmt. Diese Übelstände werden bei einer von dem Franzosen Piat in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts eingeführten und seitdem zu ziemlich groſser Verbreitung gelangten Einrichtung der Tiegelöfen vermieden. Der Piatofen ist tragbar und enthält nur einen Tiegel, welcher im Ofen befestigt, mit dem Ofen bewegt und durch Kippen des Ofens entleert wird. Die Gefahr, daſs der Tiegel während der Beförderung zerbreche, ist hierdurch erheblich verringert, und man kann deshalb Tiegel von weit gröſserem Fassungsraume als in den zuvor beschriebenen Öfen benutzen; in der Tat finden Tiegel mit einem Inhalte bis 300 kg Anwendung. Abb. 226 a. f. S. zeigt die Einrichtung eines solchen Ofens im Innern, Abb. 227 a. f. S. die Handhabung eines kleineren Ofens beim Gieſsen. Der Ofen ist mit einem Eisenblechmantel eingefaſst, und an diesem ist ein starkes, ringsherum laufendes Schmiedeeisenband befestigt, welches zwei starke Zapfen trägt. An diesen Zapfen hängt der Ofen während des Schmelzens in guſseisernen Lagerböcken, sofern man nicht vorzieht, ihn auf einen gemauerten Untersatz zu stellen; beim Tragen und Ausgieſsen aber dienen die Zapfen, deren Enden zu diesem Zwecke vierkantig ausgeschmiedet sind, zum Aufstecken von Handhaben (Abb. 227), oder bei gröſserem Gewichte des Ofens zum Anfassen eines Kranbügels[1]).

Die Art und Weise, wie der Ofen mit der Esse in Verbindung gesetzt wird, sowie die Einrichtung des Ausgusses zeigt Abb. 226. Im übrigen wird auch der Piatofen häufig durch Gebläsewind statt durch Essenzug betrieben.

Der gröſsere Fassungsraum der Tiegel des Piatofens und der Umstand, daſs die Tiegel nach dem Gieſsen sofort, ohne abzukühlen, wieder besetzt werden können, ermöglicht auch eine günstigere Ausnutzung der Wärme als in den zuerst beschriebenen Öfen.

Bei allen hier beschriebenen Tiegelschmelzöfen treten indes die Gase mit sehr hoher Temperatur aus dem Ofen und nehmen hierbei eine reichliche Wärmemenge mit, welche dadurch verloren geht. Eine Erhöhung des Ofens zur besseren Ausnutzung der

---

[1]) Hinsichtlich einer anderen Vorrichtung zum Bewegen des Ofens vergleiche „Stahl und Eisen" 1890, S. 192; auch Ledebur, Lehrbuch der mechanisch-metallurgischen Technologie, 3. Auflage, S. 188.

Wärme würde erfolglos sein, da hierdurch nur die Kohlen stärker vorgewärmt werden könnten, eben hierdurch aber auch eine stärkere Befähigung erhielten, das aufsteigende Kohlendioxyd zu Kohlenoxyd zu reduzieren. Eine Vorwärmung des zu schmelzenden Metalls durch die abziehende Wärme läfst sich dagegen erzielen, indem man über dem Tiegel einen Aufsatz anbringt, durch welchen die entweichenden Gase hindurchzuziehen gezwungen werden und welcher mit einem Teile des Metalls gefüllt wird, während das übrige Metall bereits im Tiegel sich befindet. In Abb. 228 a. f. S. ist ein solcher von R. Baumann in Oerlikon-Zürich gebauter Tiegelofen mit Vorwärmer dargestellt. Er ist, wie der Piatofen, beweglich und wird durch Unterwind betrieben. Der Wind strömt teils durch den Rost, teils durch Öffnungen *aa* im Gemäuer zu, welche durch Kanäle mit dem Raume unterhalb des Rostes in Verbindung

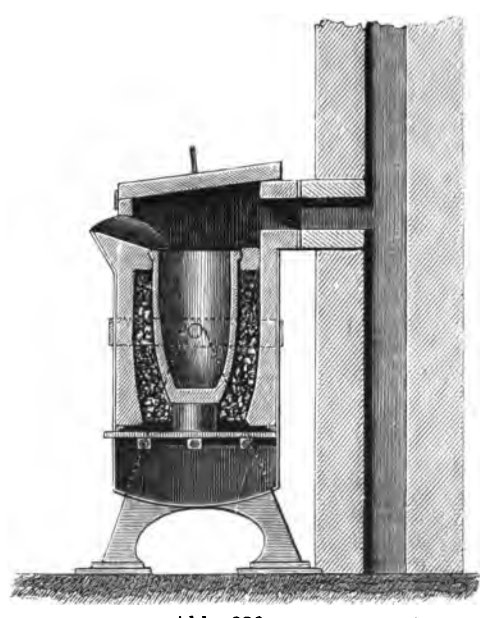


Abb. 226.

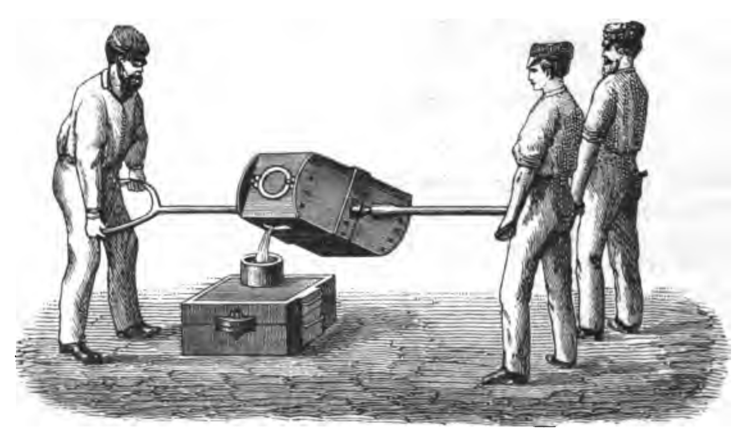


Abb. 227.

stehen. Die Entleerung erfolgt durch den links sichtbaren Ausgufs, welcher während des Schmelzens durch einen Tonpfropfen geschlossen

gehalten wird. *b* ist der Vorwärmer, dessen unterer, aus Graphit gefertigter Teil *c* sich auswechseln läfst. Wenn der Vorwärmer in der abgebildeten Anordnung auf den Deckel des Ofens gestellt und der Ausgufs geschlossen ist, müssen die Gase über den Rand des Tiegels hinweg in den Vorwärmer eintreten, um durch diesen zu entweichen. Beim Schmelzen wird der Tiegel zunächst gut vorgewärmt, dann mit sperrigen Eisenstücken gefüllt, worauf man den Vorwärmer aufsetzt und mit gröberen Eisenstücken, untermischt mit einigen Koksbrocken, füllt. Wenn der Inhalt des Tiegels zu schmelzen beginnt, rückt der inzwischen zum hellen Glühen erhitzte Inhalt des Vorwärmers nach. Nachfüllen von Koks pflegt nicht erforderlich zu sein, wenn der schon zuvor glühende Ofen vollständig mit Koks gefüllt war[1]).

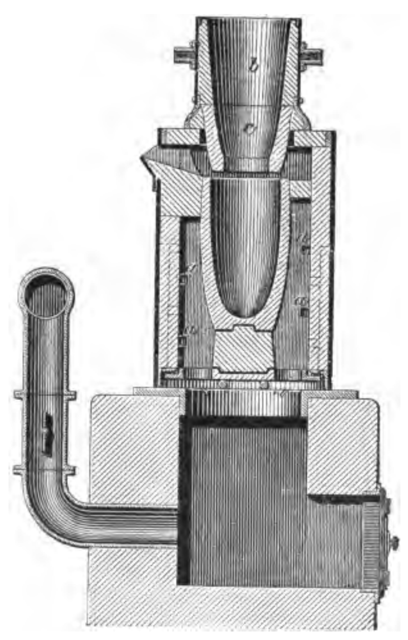


Abb. 228.

Tiegelöfen dieser Art vermögen mit niedrigerem Brennstoffaufwande und in kürzerer Zeit zu schmelzen als die zuerst beschriebenen älteren Öfen ohne Vorwärmung, aber die Haupteigentümlichkeiten des Tiegelschmelzens nach dem älteren Verfahren, dafs das eingeschlossene Metall unberührt von dem Brennstoffe und den Verbrennungsgasen bleibt, erfährt hier die Einschränkung, dafs das Metall bis zum Rotglühen durch unmittelbare Einwirkung des Gasstromes erhitzt wird. In manchen Fällen kann dieser Nachteil freilich belanglos bleiben im Vergleiche zu dem Nutzen, den die Vorwärmung ermöglicht.

Flammöfen zum Tiegelschmelzen, welche für Stahlschmelzen vielfach benutzt und in der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde eine ausführlichere Besprechung finden werden, sind für das Roheisenschmelzen in Tiegeln selten oder nie in Anwendung. Öfen mit Siemensfeuerung (S. 153 I) würden erforderlich sein, um befriedigenden Erfolg geben zu können. Diese Öfen erheischen beträchtliche Anlage- und Unterhaltungskosten und eignen sich ihrer früher geschilderten Wirkungsweise gemäfs nur für einen ununterbrochenen Betrieb in grofsem Mafsstabe. Wenn aber Roheisen in beträchtlichen Mengen geschmolzen werden soll, pflegt man sich nicht des Tiegels zu bedienen.

---

[1]) Über sonstige Tiegelöfen mit Vorwärmer enthält Weddings unter Literatur genannte Abhandlung bemerkenswerte Mitteilungen.

c) Das Schmelzen und die Betriebsergebnisse.

In den beschriebenen Tiegelschachtöfen benutzt man fast stets Koks als Brennstoff. Holzkohlen würden, selbst wenn sie ebenso billig als Koks zu beschaffen wären, doch weniger gut tauglich sein, da bei ihrer Verbrennung eine reichlichere Bildung von Kohlenoxyd als bei der Verbrennung von Koks unvermeidlich ist (S. 46 I), sie also weniger Wärme als diese entwickeln. Man gebraucht die doppelte Menge Holzkohlen als Koks, um die gleiche Menge Roheisen zu schmelzen.

Die Tiegel werden mit dem zu schmelzenden, in kleine Stücke zerschlagenen Eisen in solcher Weise gefüllt, dafs dieses möglichst dicht liegt und wenig Zwischenräume bleiben. Will man das Metall tunlichst vor chemischen Einflüssen schützen, so schliefst man den Tiegel durch einen aufgelegten Deckel. Wenn die Tiegel an ihre Stelle gebracht sind, beginnt das Schmelzen, währenddessen der Schmelzer nur von Zeit zu Zeit Koks nachzufüllen braucht, sobald ihre Oberfläche im Ofen gesunken ist. Die Zeitdauer des Schmelzens beträgt 2 bis 3 Stunden vom Einsetzen der Tiegel an, sofern der Ofen nicht mit Vorwärmer versehen ist; bei den Öfen mit Vorwärmer läfst sich, nachdem der Tiegel angewärmt wurde, das Schmelzen in 1 Stunde durchführen. Erforderlich ist es, den Tiegel, nachdem das Metall flüssig geworden ist, noch einige Zeit im Ofen verweilen zu lassen, damit entsprechende Überhitzung eintrete, ohne welche das Metall nicht gut giefsbar sein würde. Alsdann wird der Tiegel mit einer Zange herausgehoben (falls nicht Kippöfen benutzt wurden) und entleert.

Da das eingesetzte Roheisen anhaftende Sandkörnchen zu enthalten pflegt, welche mit dem Eisen gewogen waren, auch Verluste beim Giefsen nicht ganz zu vermeiden sind, beträgt das Gewicht des wiedererfolgenden Roheisens nur ungefähr 98 v. H. des Einsatzes; 2 v. H. sind Verlust. Der Brennstoffverbrauch zum Schmelzen von 1000 kg Roheisen beträgt bei den Öfen ohne Vorwärmer durchschnittlich 1000 kg Koks; er ist gröfser, wenn der Einsatz nur gering ist, man lockere, leicht verbrennliche Koks benutzte und der Ofen vorher kalt war, und er kann unter günstigen Umständen auch wohl auf 750 kg, bei den Öfen mit Vorwärmer und gröfseren Tiegeln sogar auf 500 kg sinken.

d) Der chemische Verlauf des Tiegelschmelzens.

Obschon beim Schmelzen im bedeckten Tiegel (ohne Vorwärmer) eine Berührung des Metalls mit dem Brennstoffe oder den Verbrennungsgasen ausgeschlossen ist, machen sich doch chemische Einflüsse geltend, welche Beachtung verdienen.

In dem Tiegel ist zwischen den Roheisenstücken Luft eingeschlossen; die Roheisenstücke aber enthalten an ihrer Oberfläche teils Rost, teils Eisenoxyduloxyd als dünnen Überzug. Die eingeschlossene Luft sowohl als jene Eisenoxyde wirken beim Einschmelzen oxydierend auf einige Bestandteile des Roheisens ein. Schmelzt man mangan- und siliciumarmes Roheisen, so wird der

Kohlenstoffgehalt verringert; ist Mangan in gröfseren Mengen zugegen, so schützt dieses, indem es selbst verbrennt, den Kohlenstoffgehalt; auch Silicium kann verbrannt werden, wenn der Einsatz arm an Mangan und Kohlenstoff ist. Diese Verbrennung erreicht ihr Ende, wenn das Metall vollständig flüssig geworden ist; der zuvor anwesende freie Sauerstoff ist verbraucht, die Eisenoxyde sind zerstört. Jetzt beginnt nun beim längeren Verweilen des Tiegels im Ofen die erforderliche Überhitzung[1]) und mit dieser ein neuer chemischer Vorgang. Der Kohlenstoffgehalt des Roheisens und auch der Mangangehalt, falls ein solcher zugegen ist, wirken reduzierend auf den Kieselsäuregehalt der Tiegelwände; Silicium wird vom Roheisen aufgenommen, Kohlenstoff und Mangan treten aus. Je höher die Temperatur und je weniger reichlich der schon anwesende Siliciumgehalt ist, desto deutlicher macht sich dieser Vorgang bemerkbar. Auch die Beschaffenheit der Tiegel spielt hierbei eine Rolle; ihr Kieselsäuregehalt und die Form, in welcher die Kieselsäure anwesend ist, beeinflufst den Verlauf der Siliciumreduktion. Durch den Graphitgehalt der Tiegel ist dem Eisen Gelegenheit gegeben, für den zur Reduktion des Siliciums abgegebenen Kohlenstoff Deckung zu erhalten, unter Umständen, wenn es kohlenstoffarm war, seinen Kohlenstoffgehalt noch mehr als zuvor anzureichern. Je graphitreicher die Tiegel sind, desto leichter kann das Eisen diesem Bestreben Folge geben.

Das im Tiegel umgeschmolzene und beim Umschmelzen überhitzte Roheisen pflegt daher siliciumreicher und manganärmer als zuvor geworden zu sein; ein hoher Mangangehalt befördert die Reduktion des Siliciums. Der Kohlenstoffgehalt kann, wenn er zuvor hoch war und die Tiegel nicht sehr graphitreich waren, eine Abminderung erfahren haben; häufiger ist eine, wenn auch nicht beträchtliche Zunahme bemerkbar.

Bei dreimaligem Umschmelzen weifsen Roheisens in Tiegeln, welche aus 3 Teilen Graphit und 3¼ Teilen Ton gefertigt waren, fand Müller[2]) folgende Änderungen der chemischen Zusammensetzung:

	Kohlenstoff	Silicium	Mangan
Vor dem Umschmelzen	3,59	0,07	2,04
Nach einmaligem Umschmelzen	3,71	0,57	1,91
„ zweimaligem „	3,77	0,76	1,85
„ dreimaligem „	3,63	1,07	1,86

Das ursprünglich weifse Roheisen zeigte nach jedem wiederholten Umschmelzen stärkere Graphitausscheidung, eine Folge der stattgehabten Zunahme des Siliciumgehalts; bei einem vierten Umschmelzen, dessen Erzeugnis jedoch nicht untersucht wurde, war dieses vollständig graues Roheisen geworden.

---

[1]) Solange noch ungeschmolzenes Metall sich im Tiegel befindet, kann das geschmolzene nicht überhitzt werden, da der zugeführte Wärmeüberschufs zum Schmelzen des ersteren verbraucht wird. Man vergegenwärtige sich den Vorgang beim Schmelzen von Eis in Wasser.

[2]) „Stahl und Eisen" 1885, S. 181.

Boussingault[1]) schmolz ebenfalls weifses Roheisen und erhielt nachstehende Zusammensetzung:

	Kohlenstoff	Silicium	Mangan	Phosphor	Schwefel
Vor dem Umschmelzen . .	3,80	0,42	2,58	0,07	0,10
Nach " " . .	3,44	0,66	1,75	0,08	0,02

Hier zeigt der Kohlenstoffgehalt eine ziemlich bedeutende Abnahme beim Schmelzen; vermuten läfst sich, dafs das Schmelzen in graphitarmen Tiegeln ausgeführt wurde. Beachtenswert ist auch die Abnahme des Schwefelgehalts, welche dem auf S. 357 I besprochenen Einflusse des Kohlenstoffgehalts auf den Schwefelgehalt entspricht.

Jene bei der Überhitzung des im Tiegel geschmolzenen Roheisens stets eintretende Anreicherung des Siliciumgehalts beeinflufst das Verhalten des Roheisens bei den üblichen Verwendungen[2]) gewöhnlich günstig, sofern es nicht schon ein Übermafs von Silicium enthielt, und in jedem Falle kann man durch Einsetzen eines entsprechend siliciumärmeren Roheisens jener immerhin nicht sehr beträchtlichen Zunahme Rechnung tragen.

C. Das Schmelzen in Flammöfen.

a) Geschichtliches.

Die Benutzung von Flammöfen zum Roheisenschmelzen kam um die Mitte des 18. Jahrhunderts in Grofsbritannien auf. Die Anregung dazu gab der Umstand, dafs der Herd der einzelnen Hochöfen, welche den Eisengiefsereien das geschmolzene Metall lieferten, nicht immer ausreichend grofs war, um alles für die Herstellung eines schweren Gufsstückes erforderliche Metall zu fassen; man sah sich gezwungen, neben dem Hochofen einen besonderen Schmelzofen einzurichten, welcher sich rasch in und aufser Betrieb setzen liefs und befähigt war, gröfsere Mengen mit einem Male zu schmelzen und zu sammeln. Zunächst versuchte man in eben solchen Öfen zu schmelzen, welche bereits seit Jahrhunderten zum Bronzeschmelzen benutzt worden waren und keine Esse besafsen (S. 145 I), erkannte aber bald, dafs diese nicht geeignet seien, Roheisen zu schmelzen und zu überhitzen; später gab man ihnen die Esse zur Erzeugung des lebhafteren Luftzuges und erhielt nunmehr gute Ergebnisse. 1765 waren im Cumberland bereits Flammöfen zum Roheisenschmelzen in Anwendung, deren Einrichtung der jetzt üblichen ziemlich genau entspricht[3]).

---

[1]) Annales de chimie et de physique, Reihe 5, Band 5, S. 286.

[2]) Am häufigsten findet das im Tiegel geschmolzene Roheisen für die in der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde besprochene Darstellung schmiedbaren Gusses Verwendung. Näheres über die hierfür erforderliche Zusammensetzung ist in dem betreffenden Abschnitte mitgeteilt.

[3]) Abbildung: Jars, Voyages métallurgiques, Lyon 1774, Band 1, Tafel VI. Ausführliche Abbildungen, sowohl eines älteren Flammofens ohne Esse, als zweier verbesserter Flammöfen zum Roheisenschmelzen mit Esse, enthält das Werk: G. Monge, Description de l'art de fabriquer les canons, Paris, an II, Tafel XXI—XXV.

In der Jetztzeit ist die Verwendung der Flammöfen zum Roheisenschmelzen nicht mehr häufig. In Eisengiefsereien bedient man sich ihrer bisweilen, wenn grofse Mengen Roheisen (5 bis 10 t oder darüber) geschmolzen und gesammelt werden sollen, um für einen einzigen Gufs benutzt zu werden, zumal wenn nur ein geringer Silicium- und Mangangehalt des Schmelzerzeugnisses erwünscht ist; in zahlreicheren Fällen sind sie durch die unten besprochenen Kupolöfen ersetzt. Noch seltener sind sie für andere Zwecke (Bessemer- und Thomasverfahren) in Benutzung.

b) Die Flammöfen.

Die meisten zum Schmelzen des Roheisens bestimmten Flammöfen sind mit gewöhnlicher Rostfeuerung versehen. Sie sind gewöhnlich nur für einzelne, erst in längeren Zeiträumen sich wiederholende Schmelzen bestimmt und werden nach jedem Schmelzen wieder kalt gelegt; die Anwendung einer Gasfeuerung würde bei einem derartigen Betriebe kaum Nutzen gewähren und kostspieliger sein.

Ein solcher Flammofen ist in Abb. 229 bis 231 a. f. S. dargestellt.

Wie Abb. 230 erkennen läfst, befindet sich der Sammelraum für das geschmolzene Roheisen unmittelbar hinter der Feuerbrücke, und nach Beendigung des Schmelzens wird das flüssige Metall durch ein an der vorderen Langseite des Ofens angebrachtes Stichloch (*a* in Abb. 231) abgelassen. Das Einsetzen des Roheisens erfolgt durch die Öffnung *b*. Man bringt die Roheisenstücke möglichst in die Nähe des Fuchskanales und schliefst dann die Einsatztür durch Vermauerung. Das Roheisen fliefst beim Schmelzen auf der geneigten Sohle des Herdes abwärts den Gasen entgegen, um sich an der schon bezeichneten Stelle zu sammeln. Damit die Sohle dieses Sammelherdes (Sumpfes) gut vorgewärmt werde und das Roheisen während des Stehens daselbst nicht abkühle, mufs die gewölbte Decke des Ofens hier tief heruntergezogen werden, so dafs auch die Flamme gezwungen ist, nahe über die Sohle hinwegzuziehen. Die Erfüllung dieser Bedingung ist erfahrungsmäfsig für eine gute Leistung des Ofens unumgänglich; aber das Gewölbe leidet gewöhnlich stark, wenn es allzu tief heruntergeht, und mufs deshalb mit besonderer Vorsicht hergestellt werden. *c* ist eine kleine Tür, welche die Beobachtung des geschmolzenen Roheisens, das Losbrechen etwa entstandener Ansätze usw. ermöglicht.

Bei einer älteren Form dieser Flammöfen zum Roheisenschmelzen, welche noch in manchen Giefsereien des Siegerlandes gefunden wird, liegt der Sammelraum nicht hinter der Feuerbrücke, sondern am entgegengesetzten Ende des Ofens unter dem Fuchse, welcher aus der Decke nach der seitlich stehenden Esse führt. Das Roheisen wird dicht neben der Feuerbrücke eingesetzt, und der Herd fällt in der Richtung des Gasstromes. Das Stichloch liegt an der Stirnseite des Ofens unter dem Fuchse. Der Ofen wird dadurch dem auf S. 147 I in Abb. 32 dargestellten Flammofen ähnlich mit dem Unterschiede, dafs der Fuchs *d* in der Decke des

Ofens angebracht wird. Die Bauart dieser Öfen ist einfacher, die Decke dem Wegschmelzen weniger stark unterworfen; aber die Wärmeausnutzung soll weniger günstig sein.

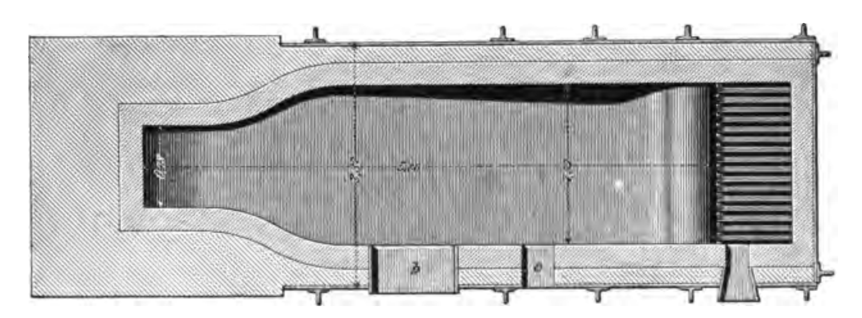


Abb. 229.

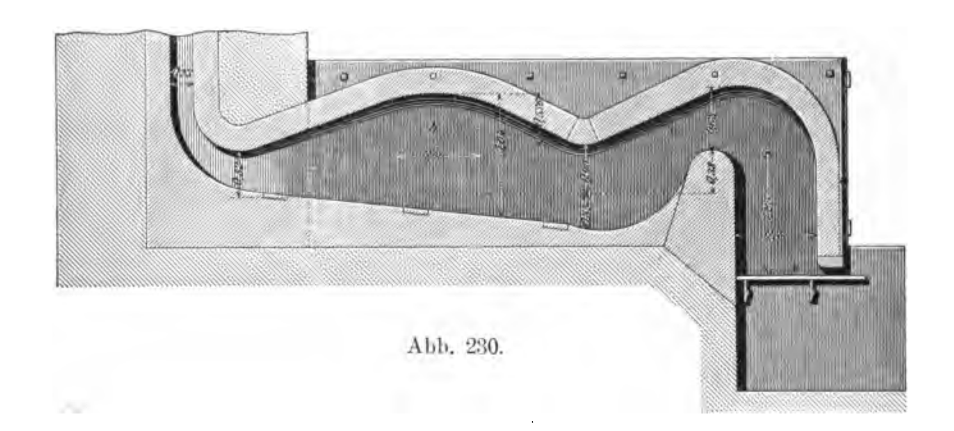


Abb. 230.

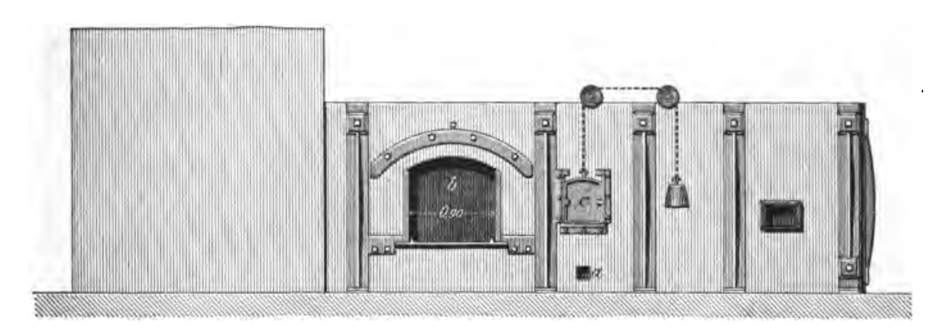


Abb. 231.

Das Innere der Öfen stellt man aus Schamottziegeln her, das Gewölbe bisweilen aus Dinasziegeln. Der Herd wird aus feuerfester Masse auf einer zwischen den Umfassungswänden aufgeschütteten

Unterlage von Sand, Brocken von Schamottziegeln oder dergleichen aufgestampft.

Für die Abmessungen solcher Flammöfen mit Rostfeuerung lassen sich folgende Verhältniszahlen annehmen.

Gröfse der Herdfläche (von der Feuerbrücke bis zum Beginn des Fuchses) für je 1000 kg des in einem Einsatze zu schmelzenden Roheisens 0,5 bis 1 qm (bei Öfen mit kleinem Einsatze mehr, mit grofsem Einsatze weniger).

Länge des Herdes 3 bis 4 m.

Gröfse der gesamten Rostfläche = 1/3 der Herdfläche.

Gröfse des Flammenloches = 0,5 bis 0,7 der gesamten Rostfläche.

Fuchsquerschnitt = 1/9 bis 1/10 der gesamten Rostfläche.

Essenquerschnitt an der engsten Stelle = 1/5 der gesamten Rostfläche.

Essenhöhe etwa 25 m.

In Ausnahmefällen, nämlich dann, wenn ein ununterbrochenes Schmelzen während längerer Zeiträume stattfindet (beim Bessemer- oder Thomasbetriebe, vergleiche Abt. III), flammende, für die Heizung eines solchen Flammofens brauchbare, aber nicht verkokungsfähige Brennstoffe (Braunkohlen) billig zu beschaffen sind, Koks, welche für den Betrieb von Kupolöfen erforderlich sein würden, verhältnismäfsig teuer zu stehen kommen, hat man Flammöfen mit Siemensfeuerung zum Roheisenschmelzen in Anwendung gebracht[1]). Die Einrichtung dieser Öfen ist im wesentlichen die gleiche wie des in Abb. 35 bis 38 auf S. 154 I dargestellten Siemensofens.

c) Das Schmelzen und die Betriebsergebnisse.

Bei dem Betriebe der Flammöfen, welche nur zeitweise benutzt und dann wieder kalt gelegt werden, bringt man das Roheisen vor dem Anheizen ein und setzt es so auf, dafs es von der vorüberziehenden Flamme gut getroffen wird. Dann schliefst man die Einsatzöffnung und beginnt mit dem Feuern. Während dieser Zeit beschränkt sich die Arbeit des Schmelzers auf die Unterhaltung des Feuers und Überwachung des schmelzenden Metalls, Losbrechen gebildeter Ansätze von der Herdsohle und dergleichen mehr. Ist alles Roheisen geschmolzen, so wird noch einmal kurze Zeit stark gefeuert, um die erforderliche starke Überhitzung des flüssigen Metalls zu erzielen; dann wird zum Abstiche geschritten.

Siemensöfen müssen vor dem Einsetzen des Roheisens geheizt werden; erst wenn sie in volle Temperatur gekommen sind, bringt man das Roheisen in die Mitte des Herdes.

Die Zeitdauer des Schmelzens bei Öfen mit Rostfeuerung, vom Beginn des Anheizens an gerechnet, beträgt 5 bis 6 Stunden; verarbeitet man mehrere Einsätze nacheinander, so dafs das Roh-

[1]) Teplitzer Walzwerk, wo man die zur Thomashütte gehörenden Roheisenschmelzöfen mit Braunkohlengas heizt. Näheres hierüber: „Stahl und Eisen“ 1883, S. 211.

eisen in den schon glühenden Ofen eingesetzt wird, so beschränkt sich die Schmelzzeit gewöhnlich auf 3 bis 4 Stunden. In Siemensöfen ist nur eine Zeitdauer von etwa 2 Stunden für das Schmelzen eines Einsatzes erforderlich, sofern der Ofen schon beim Einsetzen sich in entsprechend hoher Temperatur befand.

Am häufigsten benutzt man für die Öfen mit Rostfeuerung Steinkohlen als Brennstoff. Auch in den günstigsten Fällen beträgt der Brennstoffverbrauch zum Schmelzen von 1000 kg Roheisen nicht weniger als 350 kg Steinkohlen; häufiger beziffert er sich auf 500 bis 700 kg, bei kleinen Einsätzen auch wohl auf 1000 kg und darüber. Bei Anwendung von Braunkohlen, Holz oder Torf ist der Brennstoffverbrauch in demselben Mafse höher, als der Brennwert dieser Brennstoffe niedriger ist.

Beim Schmelzen in Siemensöfen mit Braunkohlengas gebraucht man in Teplitz für 1000 kg Roheisen ungefähr 450 kg Braunkohlen, wobei der einmalige Roheiseneinsatz 6,5 t beträgt.

Der Metallverlust beim Flammofenschmelzen (Abbrand und mechanische Verluste) beträgt meistens 5 bis 8 v. H. des Einsatzgewichts.

d) Der chemische Verlauf des Flammofenschmelzens.

Damit die zum Schmelzen und Überhitzen des Roheisens erforderliche Temperatur im Ofen erreicht werde, ist die Erzielung einer tunlichst vollständigen Verbrennung, also die Bildung einer Flamme erforderlich, welche aufser Stickstoff vorwiegend Kohlendioxyd, Wasserdampf und freien Sauerstoff enthält. Diese Flamme wirkt stundenlang auf das Roheisen ein, welches ihr eine reichliche Oberfläche darbietet; eine teilweise Verbrennung einiger Bestandteile des Roheisens ist die Folge davon. In welchem gegenseitigen Verhältnisse die Körper hierbei ausscheiden, hängt zum Teile von ihrem ursprünglichen Gehalte im Roheisen ab. In jedem Falle wird eine gewisse Menge E i s e n verbrannt, welches, obgleich weniger leicht verbrennlich als Mangan und Silicium, doch in reichem Überschusse zugegen ist und daher leichter als diese Körper von der Einwirkung der Flamme erreicht wird. Neben dem Eisen verbrennt M a n g a n, dessen Neigung zum Verbrennen durch die Berührung mit den kieselsäurehaltigen Ofenwänden gesteigert wird; je manganreicher der Einsatz war, desto mehr bleibt das Eisen selbst vor der Verbrennung geschützt. Auch S i l i c i u m verbrennt; K o h l e n s t o f f dagegen bleibt so lange vor der Verbrennung geschützt, als Mangan und Silicium noch in einigermafsen reichlichen Mengen im Metalle anwesend sind. Sofern daher eine Entkohlung beim Schmelzen vermieden werden soll, gewährt die Wahl eines mangan- und siliciumreichen Einsatzes das Mittel hierfür. Schon ein Gehalt des Roheisens von 2 v. H. Mangan pflegt einen ausreichenden Schutz für den Kohlenstoffgehalt zu bilden, sofern nicht ungünstige Verhältnisse (z. B. verzögerter Verlauf des Schmelzens) das Mafs der Oxydation in ungewöhnlicher Weise erhöhen.

Von dem M a n g a n g e h a l t e des Einsatzes brennt in gewöhn-

lichen Fällen ein Drittel bis zwei Drittel, von dem Siliciumgehalte ein Viertel bis zur Hälfte, von dem Kohlenstoffgehalte höchstens ein Sechstel weg.

Phosphor wird nicht ausgeschieden. Der Kohlenstoffgehalt des Roheisens und das kieselsäurereiche Ofenfutter verhindern die Verbrennung und Ausscheidung dieses Körpers.

Auch Kupfer, Arsen, Antimon lassen sich nicht entfernen, wie schon bei Besprechung des Verhaltens dieser Körper in der ersten Abteilung erwähnt wurde.

Eine geringe Schwefelabscheidung würde beim Schmelzen manganreicher Einsätze stattfinden können; enthalten aber die benutzten Brennstoffe Schwefel, so vermag das flüssige Eisen auch aus der Flamme Schwefel aufzunehmen. Eine Schwefelanreicherung wird in diesen Fällen häufiger sein als eine Schwefelabnahme. Zuverlässige Ermittelungen hierüber liegen nicht vor.

D. Das Schmelzen in Kupolöfen.

a) Geschichtliches.

Schachtöfen, welche zum Umschmelzen des Roheisens in unmittelbarer Berührung mit den Brennstoffen bestimmt sind, nennt

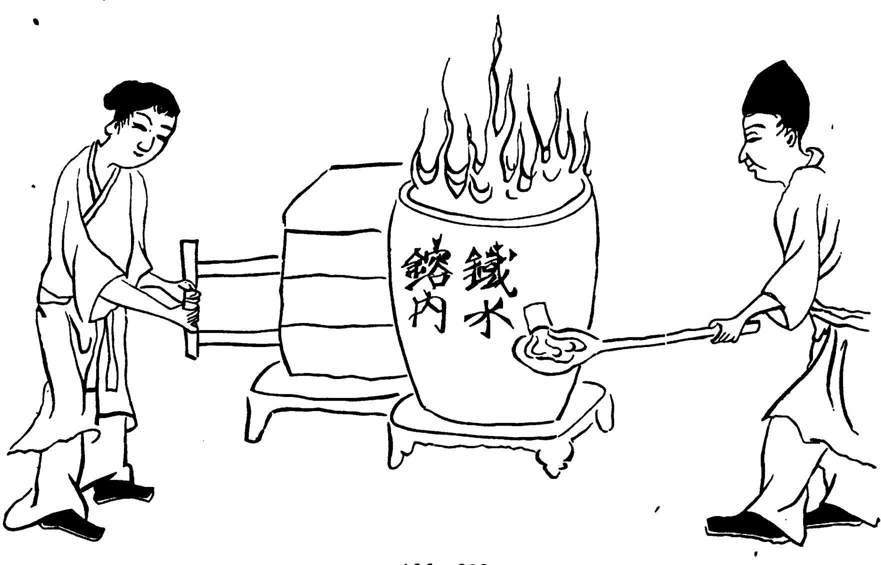


Abb. 232.

man Kupolöfen. Die Benennung ist von dem englischen Worte *cupola-furnaces* abgeleitet und bedeutet eigentlich Kuppelöfen. Da der Ofen eine Kuppel nicht besitzt, ist der Name zwar nicht gut gewählt, trotzdem aber in mehr oder weniger veränderter Form auch

in die Sprachen anderer Länder übergegangen, wo man sich dieser Öfen bedient (z. B. französisch *cubilot*)[1]).

Schachtöfen zum Umschmelzen von Roheisen waren in China schon 1630 in Benutzung. Die Abb. 232, einem in dem genannten Jahre erschienenen Werke des chinesischen Gelehrten Sung entnommen, zeigt einen solchen altchinesischen Kupolofen, zum Gießsen eiserner Kessel bestimmt. Die Inschrift auf dem Ofen besagt: „Eisen wird hierin geschmolzen.“ Der Ofen zur Darstellung des Roheisens

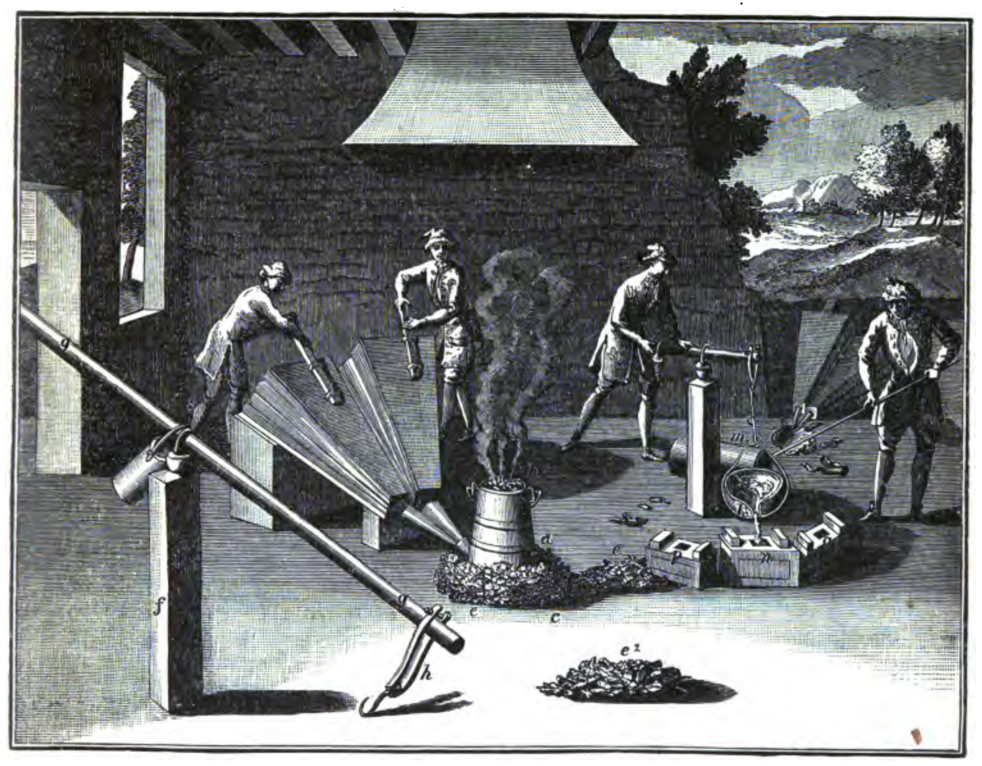


Abb. 233.

aus Erzen ist auf einem anderen, hier nicht wiedergegebenen Blatte des erwähnten Buches abgebildet[2]). Der Betrieb des Ofens erfolgt, wie die Abbildung erkennen läfst, durch ein von Hand betriebenes Kastengebläse. Solche Gebläse sind noch heute in China in Anwendung.

---

[1]) Woher die Benennung stammt, läfst sich nicht mit Sicherheit angeben. Wie es scheint, nannte man anfänglich die zum Umschmelzen des Roheisens bestimmten, mit einem Gewölbe überspannten Flammöfen mitunter Kupolöfen; durch eine Verwechslung der Begriffe wurde die Benennung später, als die Kupolöfen häufiger für den gleichen Zweck in Anwendung kamen, auf diese übertragen.

[2]) Eine Abbildung des letzteren Ofens ist in Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Band 16, S. 191 enthalten.

In Europa findet man die ersten Spuren kleiner, zum Umschmelzen von Roheisen (Alteisen) dienender Schachtöfen in Frankreich im Beginne des achtzehnten Jahrhunderts. Reisende Giefser zogen im Lande umher, um den Bedarf der Einwohner an kleinen Gufseisengegenständen — Töpfen, Kaminvorsetzern u. dergl. m. — zu decken. Um das erforderliche flüssige Metall zu erhalten, setzten sie einen oben und unten offenen und deshalb *la manche* genannten tragbaren Schacht[1]) von etwa 60 cm Höhe mit dem unteren Rande auf einen in den Erdboden eingegrabenen Tiegel oder eine Giefspfanne, verstrichen die Fuge mit Lehm, füllten den Ofen mit Holzkohlen, bliesen durch eine seitliche Öffnung Wind ein und begannen, wenn der Ofen sich in Weifsglut befand, mit dem Setzen des in kleine Stücke zerschlagenen Alteisens. Wenn die genügende Menge Eisen geschmolzen war, warf man den Schacht zur Seite, hob den Tiegel oder die Pfanne mit dem flüssigen Metalle empor und entleerte sie in die Gufsform. In Abb. 233 a. v. S., aus dem im Jahre 1722 erschienenen Werke von Réaumur: „*L'art de convertir le fer forgé en acier et l'art d'adoucir le fer fondu ou de faire des ouvrages de fer fondu aussi finis que de fer forgé*" stammend, ist diese Betriebsweise bildlich dargestellt. In der Mitte sieht man einen in Glut befindlichen Ofen mit dem zugehörigen Gebläse; die darunter befindliche Pfanne ist nicht erkennbar, da ringsherum Holzkohlen aufgeschüttet sind. Rechts wird eine bereits gefüllte Pfanne in die Gufsform entleert; dahinter liegt der zur Seite geworfene Schacht, und hinter diesem gewahrt man das für seinen Betrieb benutzte Gebläse und die Vertiefung des Erdbodens, in welcher die Pfanne beim Schmelzen sich befand.

Auch in gröfseren Giefsereien Frankreichs fanden diese kleinen Kupolöfen ihrer bequemen Benutzungsweise halber Eingang. Später ersetzte man sie häufig durch Öfen mit geschlossenem Boden, welche in Zapfen aufgehängt waren, um durch Kippen entleert werden zu können. Solche Sturzöfen fanden in manchen Gegenden viel Beifall und wurden noch in den ersten Jahrzehnten des neunzehnten Jahrhunderts mehrfach benutzt[2]).

Gröfsere, feststehende Öfen, zum Umschmelzen des Roheisens in Eisengiefsereien bestimmt, erschienen zuerst um 1790 oder wenig früher in Grofsbritannien. Ein Engländer Wilkinson führte sie ein oder erhielt wenigstens ein Patent auf besondere Eigentümlichkeiten der von ihm gebauten Öfen; daher nannte man sie anfänglich häufig Wilkinsonöfen, und noch in Abhandlungen aus den vierziger Jahren des neunzehnten Jahrhunderts begegnet man mitunter dieser Bezeichnung, neben welcher allerdings schon seit

---

[1]) Die Öfen hiefsen daher *fours à manche*, und dieser Name blieb für Kupolöfen neben der später entstehenden Benennung *cubilot* bis zum dritten Jahrzehnt des neunzehnten Jahrhunderts üblich. Beispiel: Annales des mines, Reihe 2, Band 6 (1829), S. 83.

[2]) Abbildung eines kleinen Sturzofens, aus Réaumurs genanntem Werke entnommen, enthält „Stahl und Eisen" 1885, Blatt VII (Märzheft); ein gröfserer Sturzofen aus dem Beginn des neunzehnten Jahrhunderts ist beschrieben in Norberg, Über die Produktion des Roheisens in Rufsland und über eine neue Schmelzmethode in Sturzöfen. Deutsch von Blumhof. Freiberg 1805.

dem Beginne des Jahrhunderts der Name Kupolöfen auftaucht. Von den erwähnten älteren Schachtöfen zum Roheisenschmelzen unterscheiden sie sich nicht allein durch ihre gröfseren Abmessungen, sondern auch dadurch, dafs ihre Entleerung von flüssigem Metalle durch Öffnen eines Stichloches am Boden bewirkt wird, wodurch man befähigt ist, den Betrieb ohne Unterbrechung beliebig lange fortzuführen. Diese Wilkinsonöfen stimmen in ihren Haupteigentümlichkeiten mit den jetzt üblichen Kupolöfen überein; aber in den Einzelheiten der Anordnung sind mehrfache wesentliche Verbesserungen eingeführt worden[1]).

b) Die Kupolöfen.

Fast immer betreibt man den Kupolofen mit Hilfe eines Gebläses, welches ihm die Verbrennungsluft zuführt. Nur in einzelnen Fällen hat man die Anwendung eines Gebläses entbehrlich gemacht, indem man die Gicht durch einen Parryschen oder ähnlichen Gasfang schlofs und die Gase durch einen Dampfstrahl absaugte, welcher in das zur Ableitung der Gase dienende Rohr geleitet wurde (Saugkupolöfen von Woodward[2]) und Herbert)[3]). Dem Vorteile der Ersparung des Gebläses steht bei diesen Öfen aber der Nachteil eines höheren Dampfverbrauches[4]) und die Schwierigkeit gegenüber, grofse Mengen Roheisen rasch zu schmelzen. Die Anwendung ist daher ziemlich vereinzelt geblieben.

Die erforderliche Windspannung bei Gebläse-Kupolöfen braucht niemals sehr hoch zu sein, wie unten ausführlich begründet werden wird. Daher würde die Anwendung eines Zylindergebläses unzweckmäfsig sein, dessen Anlage und Wartung kostspielig ist, und dessen Wirkungsgrad um so ungünstiger ausfällt, je niedriger die zu erzeugende Windspannung ist. Zentrifugalgebläse (auch Ventilatoren genannt) oder Kapselgebläse (Rootssches Gebläse, Krigars Schraubengebläse, Jägers Gebläse u. a.) genügen dem Zwecke[5]), sind billiger und erfordern weniger Platz als ein Zylindergebläse.

Die Windmenge, welche ein solches Gebläse dem Kupolofen zuführt, läfst sich nur aus der Zusammensetzung der Gichtgase und der Menge des in der Minute verbrannten Kohlenstoffs, nicht aus der Windspannung und der Gröfse des Ausflufsquerschnitts berechnen, da die Widerstände, welche die Gase im Ofen finden, gröfseren Einflufs auf die Windspannung ausüben als die Gröfse des Ausflufsquerschnitts. Die Zusammensetzung der Gicht-

---

[1]) Abbildungen von Wilkinsonöfen findet man unter anderen in: Annales des arts et manufactures, Band I, S. 156; Blumhof, Enzyklopädie der Eisenhüttenkunde, Giefsen 1816.

[2]) Berg- und hüttenmännische Zeitung 1866, S. 44, 126; 1869, S. 305.

[3]) „Stahl und Eisen" 1886, S. 399 und 557; Glasers Annalen, Band 19, S. 172.

[4]) Glasers Annalen, a. a. O.

[5]) Über die Einrichtung solcher Gebläse: von Hauer, Hüttenwesenmaschinen, Leipzig 1876, S. 208; Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten, Band 3, S. 81; Dürre, Handbuch des Eisengiefsereibetriebes, 3. Auflage, Band 1, S. 655; A. von Ihering, Die Gebläse, S. 250 und 281; „Stahl und Eisen" 1898, S. 69.

gase wird unten Besprechung finden; durchschnittlich kann man annehmen, dafs für jedes Kilogramm verbrannten Kohlenstoffs der Ofen 8,5 cbm Wind erhält[1]).

Nicht selten betrachtete man früher den Kupolofen als eine kleine Abart des Hochofens und richtete dieser Anschauung gemäfs die Windzuführung ein. Man vergafs, dafs in dem Hochofen Eisenerze reduziert werden sollen, während in dem Kupolofen nur bereits fertiges Roheisen geschmolzen wird. Für die Erfüllung der Aufgabe des Hochofens mufs aller vor die Form gelangende Brennstoff zu Kohlenoxyd verbrannt werden; der Kupolofen vermag mit um so geringerem Aufwande an Brennstoff das Roheisen zu schmelzen, je reichlichere Mengen Kohlendioxyd vor den Formen gebildet werden.

Noch in den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts waren die meisten Kupolöfen mit nur einer bis zwei engen Windformen versehen, durch welche eine verhältnismäfsig geringe Menge hochgespannten Windes eingeblasen wurde. Die Verbrennung verlief ähnlich wie bei Hochöfen, und eine lange blaue, aus der Gicht emporschlagende Flamme verriet die reichliche Menge des in den Gichtgasen enthaltenen Kohlenoxyds. Nachdem man den Unterschied beider Ofengattungen besser zu würdigen gelernt hatte und hiernach die Einrichtung der Kupolöfen, zumal die Art und Weise der Windzuführung, änderte, ermäfsigte sich der erforderliche Brennstoffverbrauch zum Schmelzen der gleichen Roheisenmenge auf etwa ein Drittel des früheren[2]).

Die Lösung jener Aufgabe, vor den Formen vorwiegend Kohlendioxyd statt Kohlenoxyd zu erzeugen, wird durch die Erfüllung nachfolgend genannter Bedingungen ermöglicht.

Anwendung dichter Brennstoffe (vergl. S. 46 I). Holzkohlen liefern daher — im Gegensatze zum Hochofenbetriebe — in allen Fällen ungünstigere Ergebnisse als Koks.

Rasches Aufsteigen der Gase, um eine allzu ausgedehnte Berührung mit den entgegenrückenden Brennstoffen und eine dadurch beförderte Reduktion von Kohlendioxyd zu Kohlenoxyd auf Kosten des Brennstoffs zu vermeiden, also rascher Schmelzgang, herbeigeführt durch reichlich zugeführte Windmengen. Als erforderlichen Schachtquerschnitt im Schmelzraume zum Schmelzen von je 1000 kg Roheisen in einer Stunde kann man etwa 700 qcm rechnen, um so weniger, je vorzüglicher die Koks sind. Aus demselben Grunde würde auch eine zu reichlich bemessene Höhe des Kupolofens eher nachteilig als vorteilhaft sein. Kleineren, für Giefsereien bestimmten Kupolöfen mit 0,5 bis 1 m Schachtdurchmesser gibt man 2,5 bis 4 m Höhe über den Windformen, grofsen Öfen mit 1,2 bis 2 m Durchmesser (für Bessemer- und Thomashütten) 4 bis 6 m Höhe über den Formen.

---

[1]) Lürmann fand 8,23 cbm Wind für 1 kg Kohlenstoff. „Stahl und Eisen“ 1891, S. 309.

[2]) Dafs dieser Erfolg möglich war, läfst sich erkennen, wenn man die Wärmeentwickelung der gleichen Menge Kohle bei der Verbrennung zu Kohlenoxyd und zu Kohlendioxyd miteinander vergleicht. Im ersten Falle erfolgen 2470, im anderen 8080 W.-E.

Schwache Pressung und reichliche Verteilung des einströmenden Windes. Die Wirkung dieses Mittels hinsichtlich der reichlicheren Kohlendioxydbildung wurde auf S. 46 I erläutert. Die Ausflufsquerschnitte aus der Windleitung müssen so reichlich bemessen sein, dafs die in der Leitung mefsbare Spannung fast nur durch den Widerstand, welchen die Gase im Ofen selbst finden, hervorgerufen wird. Dieser Widerstand wächst mit der Höhe des Ofens; damit aber der Wind bis zur Mitte des Ofens vordringen kann, mufs die Windspannung auch mit dem Durchmesser des Ofens zunehmen. Bei kleinen Giefsereikupolöfen von der angegebenen Höhe, welche stündlich nicht mehr als etwa 1 t Roheisen zu schmelzen bestimmt sind, kann schon eine Windspannung von 300 mm Wassersäule (0,03 kg auf 1 qcm) genügen, einen ausreichend raschen Luftwechsel zu veranlassen; bei gröfseren Giefsereikupolöfen bläst man mit einer Spannung von 400 bis 600 mm Wassersäule, bei sehr grofsen Öfen für Bessemer- und Thomashütten, welche stündlich 25 bis 30 t schmelzen sollen, mit 800 bis 1000 mm Wassersäule, und vereinzelt geht man, wenn die Höhe des Ofens erheblich ist, bis auf 1400 mm.

Für den Gesamtquerschnitt der Windeinströmungsöffnungen (Formen) kann man $^1/_8$ bis $^1/_4$ des engsten Schachtquerschnittes rechnen, ohne fürchten zu müssen, zu reichliche Querschnitte zu erhalten. Ihre Anordnung, d. h. die Verteilung der einzelnen Öffnungen im Ofen, kann verschieden sein, und die zahlreichen Kupolofenarten, welche im Laufe der Jahre eingeführt wurden, unterscheiden sich im wesentlichen nur durch die Anordnung der Windeinströmungen. Besondere Vorzüge der einen oder der anderen Anordnung sind dabei selten zu erkennen, sofern nur der allgemeinen Regel, dem Windstrome reichlichen Querschnitt und reichliche Verteilung zu geben, genügt wird. Bei einzelnen Kupolöfen gelangt der Wind durch kreisrunde Öffnungen in den Ofen; bei anderen sind zwei Reihen solcher Öffnungen in Abständen von 0,5 bis 1 m übereinander angebracht, oder die Öffnungen sind nach einer steilen Schraubenlinie angeordnet; noch andere Öfen haben längliche Schlitze als Einströmungen mit geringer Breite und bedeutender Höhe, wodurch die Verteilung des Windes auf einen grofsen Raum erleichtert wird. Die unten gegebenen Beispiele ausgeführter Kupolöfen werden einzelne dieser Anordnungen veranschaulichen.

Auch die innere Form des Kupolofenschachtes kann verschieden sein. Die einfachste Form ist der Zylinder; bisweilen auch gibt man dem Schachte die Form eines abgestumpften Kegels, d. h. man macht den Gichtdurchmesser ein wenig kleiner als den Durchmesser im unteren Teile, um das Aufhängen sperriger Roheisenstücke an den Wänden zu erschweren. Häufiger findet man Kupolöfen, deren Schacht unten, ähnlich wie bei Hochöfen, verengt ist, teils um das Vordringen des Windes bis zur Mitte des Ofens zu erleichtern, teils auch, um hier, wo die Schachtsteine am raschesten wegschmelzen, eine etwas gröfsere Steinstärke zu erhalten (z. B. bei dem in Abb. 234 auf S. 315 dargestellten Kupolofen).

Der Herd des Kupolofens (Sammelraum für das flüssige

Metall) liegt entweder unmittelbar unter den Windöffnungen (vergl. die Abb. 234), oder man bringt neben dem Schachte einen Vorherd an (wie bei dem unten in Abb. 238 dargestellten Ofen), in welchem die geschmolzenen Massen sich sammeln. Letztere Einrichtung, von Krigar eingeführt, empfiehlt sich besonders dann, wenn grofse Mengen Roheisen gesammelt werden sollen, ehe zum Abstiche geschritten wird; das Schmelzen im Ofenschachte bleibt alsdann unbeeinflufst von dem höheren oder niedrigeren Stande des Roheisens im Herde. Das an der tiefsten Stelle des Herdes befindliche Stichloch pflegt 50 bis 90 cm über dem Fufsboden der Hütte angebracht zu werden. Soll das ausfliefsende Roheisen in einer Giefspfanne aufgefangen werden, so befestigt man vor dem Stichloche eine mit Lehm ausgekleidete Rinne, unter welche die Pfanne gestellt wird.

Nutzlos würde bei Kupolöfen eine starke Erhitzung des Gebläsewindes sein, welche die Bildung von Kohlenoxyd befördert (S. 47 I). Der Ersparung an Brennstoff, welche durch die vom heifsen Winde zugeführte Wärme ermöglicht wird, steht der Mehrverbrauch durch reichlichere Kohlenoxydgasbildung gegenüber. Nach der Einführung der Winderhitzung bei Hochöfen ging man, angespornt durch die hierbei erlangten günstigen Ergebnisse und befangen in unklaren Anschauungen über die eigentliche Wirkungsweise des heifsen Windes, vielfach daran, auch bei dem Kupolofenbetriebe dieses Mittel anzuwenden; aber bald überzeugte man sich von dessen Zwecklosigkeit, welche um so deutlicher hervortrat, je mehr man lernte, durch Befolgung der in vorstehendem aufgeführten Regeln den früheren hohen Brennstoffverbrauch der Kupolöfen auf ein geringeres Mafs abzumindern.

Für den Aufbau der Kupolöfen benutzt man in der Regel Schamottziegel, und man gibt dem Schachtmauerwerk 200 bis 600 mm Stärke. Bei Giefsereikupolöfen, welche täglich nur einige Stunden im Betriebe zu sein pflegen, kann die Stärke des Ofenfutters geringer bemessen werden, als bei solchen für Bessemer- und Thomashütten, welche in der Regel sechs Tage lang ununterbrochen im Betriebe bleiben sollen. Zum Schutze bekommt der Ofen einen Mantel aus Eisenblech.

Kühlungen, ähnlich den Kühlungen der Hochöfen, sind bislang nur vereinzelt zur Anwendung gebracht worden, da jeder Kupolofen sich rasch in und aufser Betrieb setzen läfst und deshalb Ausbesserungen des Mauerwerkes sich leicht vornehmen lassen. Auch eine vollständige Auswechslung ist in kurzer Zeit zu bewirken. Hier und da hat man allerdings den ganzen Schmelzraum des Kupolofens mit einem wassergekühlten Mantel aus Eisenblech ohne jede Steinausfüllung umgeben, aber das Verfahren ist vereinzelt geblieben, obgleich die Versuche zeigten, dafs der Mantel sich gut hielt und der Brennstoffverbrauch nicht erheblich stieg[1]).

---

[1]) Näheres hierüber: Berg- und hüttenmännische Zeitung 1878, S. 149 (Gröditzer Kupolofen); Österr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1882, S. 526 (Gmelins Kupolofen).

Einige Beispiele bewährter Kupolöfen mögen als Ergänzung der gegebenen Mitteilungen dienen.

In Abb. 234 und 235 ist eine vielfach angewendete Kupolofenform dargestellt, deren Haupteigentümlichkeit in der Anordnung

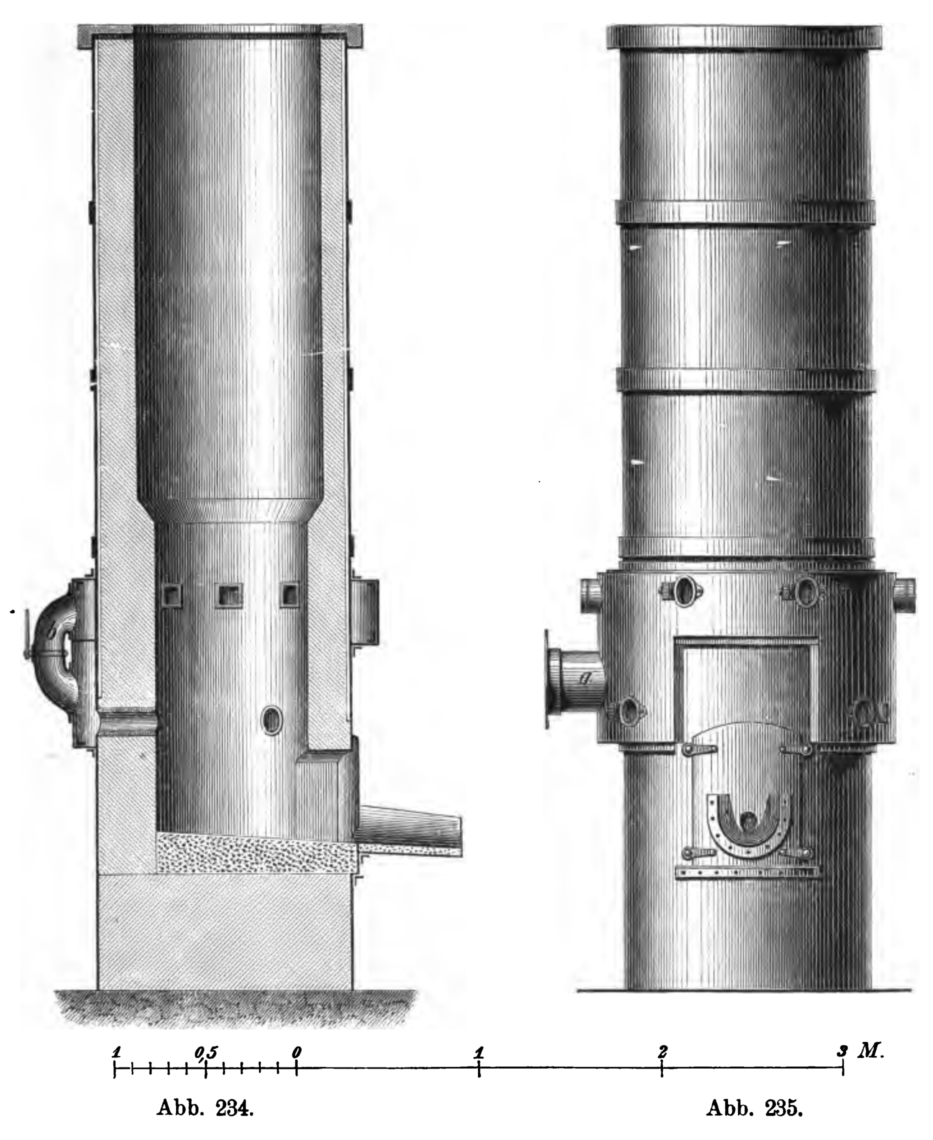


Abb. 234. Abb. 235.

zweier Reihen Windöffnungen übereinander in einem Abstande von wenigen Zentimetern bis 1 m besteht. Öfen mit derartiger Windverteilung wurden in den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts zuerst von dem Engländer Ireland gebaut und werden deshalb auch jetzt noch bisweilen Irelandöfen genannt. Die

Einrichtung ermöglicht die Anbringung einer gröfseren Zahl von Öffnungen als in einer einzelnen Reihe und befördert die Verteilung des Windes auf einen gröfseren Raum. Bei dem abgebildeten Ofen enthält die untere Reihe drei gröfsere, die obere sechs kleinere Öffnungen. In Rücksicht auf den Umstand, dafs der unten eintretende Wind gröfsere Widerstände zu überwinden hat als der oben eintretende, ist es zweckmäfsig, den Gesamtquerschnitt der unteren Öffnungen etwas reichlicher zu wählen als den der oberen (Verhältnis etwa 3 : 2). Dafs bei dem abgebildeten Ofen die oberen Öffnungen quadratischen, die unteren kreisrunden Querschnitt besitzen, ist nebensächlich; häufig gibt man, wie schon erwähnt, den Öffnungen in beiden Reihen die Form senkrecht stehender Schlitze.

Der vom Gebläse kommende Wind gelangt bei dem abgebildeten Ofen zunächst in einen an dem Blechmantel befestigten, ringsherum laufenden Verteilungskanal, der, wie der Mantel, aus Eisenblech gefertigt ist, und aus diesem nach jenen Windeinströmungsöffnungen. Eine Teilung des Verteilungskanals durch eine Scheidewand in eine obere und untere Hälfte ist zweckmäfsig, damit man imstande sei, bei Inbetriebsetzung des Ofens zunächst allein durch die unteren Öffnungen zu blasen. Indem man hierbei die Verbrennung auf den unteren Teil des Ofens beschränkt, wärmt man diesen stärker an und verhütet leichter eine Abkühlung des später ankommenden flüssigen Roheisens. Die Abbildung läfst diese Einrichtung erkennen. Der Wind gelangt durch das Rohr *a* von aufsen in die untere Abteilung des Verteilungskanals, durch das mit Drosselklappe versehene Rohr *b* in die obere Abteilung.

Damit man die Vorgänge im Innern beobachten und nötigenfalls Reinigungen der Windöffnungen vornehmen könne, ist hinter jeder der letzteren in der Aufsenwand des Verteilungskanals eine durch eine Glimmerplatte verschlossene Schauöffnung angebracht, welche sich öffnen läfst, wenn eine Eisenstange eingeschoben werden soll. In Abb. 235 sind mehrere dieser Schauöffnungen sichtbar.

Eine Öffnung zum Einsteigen in den Ofen befindet sich bei diesem Ofen an der Vorderseite. Sie wird während des Schmelzens vermauert, wobei unten eine entsprechend weite Stichöffnung gelassen wird. Damit nicht der Druck des sich sammelnden Roheisens die eingesetzten Steine aus ihrer Lage bringe, wird vor der Öffnung eine Eisenblechtür befestigt, an welcher eine Gufsrinne aus Eisenblech angenietet ist.

Mitunter hat man bei Öfen dieser Art die Windformen nach einer Schraubenlinie angeordnet, um eine noch bessere Verteilung des Windes zu erzielen; oder man hat eine Reihe Windformen im Kreise, wie bisher, verteilt und eine zweite Reihe darüber nach einer Schraubenlinie. Ein Ofen der letzteren Art, von Greiner und Erpf gebaut und im Anfange der neunziger Jahre des vorigen Jahrhunderts ziemlich häufig benutzt, ist in Abb. 236 und 237 dargestellt. Wie man sieht, ist die Schraubenlinie der oberen Formenreihe ziemlich steil und steigt bis fast zur Gicht empor, während jede einzelne Form nur einen ziemlich kleinen Durchmesser besitzt.

Man beabsichtigt durch diese Einrichtung, das vor den unteren Formen etwa entstandene Kohlenoxyd durch den oben zugeführten Wind zu Kohlendioxyd zu verbrennen; um zu verhüten, dafs hierbei eine beträchtliche Temperatursteigerung eintrete, welche die Wiederreduktion des Kohlendioxyds zu Kohlenoxyd auf Kosten des Brennstoffs zur Folge haben würde, sind eben die Windformen in ziemlich weiten Abständen auf die sich lang ausdehnende Schraubenlinie verteilt. Jede einzelne Windform der oberen Reihe läfst sich verschliefsen, so dafs man durch einen Versuch feststellen kann,

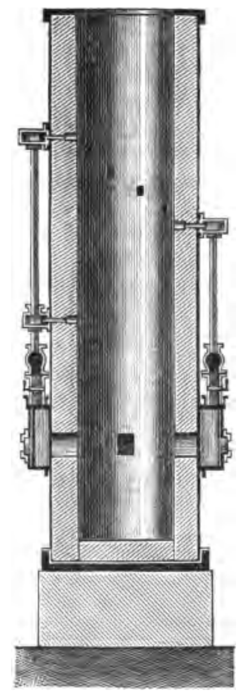




Abb. 236.



Abb. 237.

in welcher Höhe über den Formen Wind zugeleitet werden darf, ohne dafs ein Erglühen des Koks eintritt, während ein blaues Flämmchen anzeigt, dafs in der Tat Kohlenoxydgas verbrennt. Die untere Formenreihe erhält ihren Wind, wie bei vielen anderen Kupolöfen, von einem ringsherum laufenden Verteilungskanale aus, die obere Formenreihe durch senkrechte Düsenrohre, welche von einem gemeinschaftlichen Ringrohre ausgehen und deren jedes mit einer Drosselklappe versehen ist, damit man bei jeder einzelnen Form die Windmenge regeln kann.

Der Ofen liefert bei sorgfältiger Beaufsichtigung der einzelnen Windformen recht gute Ergebnisse. Verabsäumt man aber diese Beaufsichtigung, so kann es geschehen, dafs entweder ein Erglühen

der Koks in dem oberen Teil des Ofens eintritt, also aufs neue Kohlenoxyd gebildet wird, oder dafs Luft an Stellen zugeführt wird, wo das Kohlenoxydgas bereits allzu verdünnt und die Temperatur allzu niedrig ist, als dafs überhaupt noch ein Verbrennen möglich wäre. Das Gebläse gebraucht in diesem Falle Arbeit zur Beschaffung der Luft, ohne dafs ein Nutzen erzielt würde.

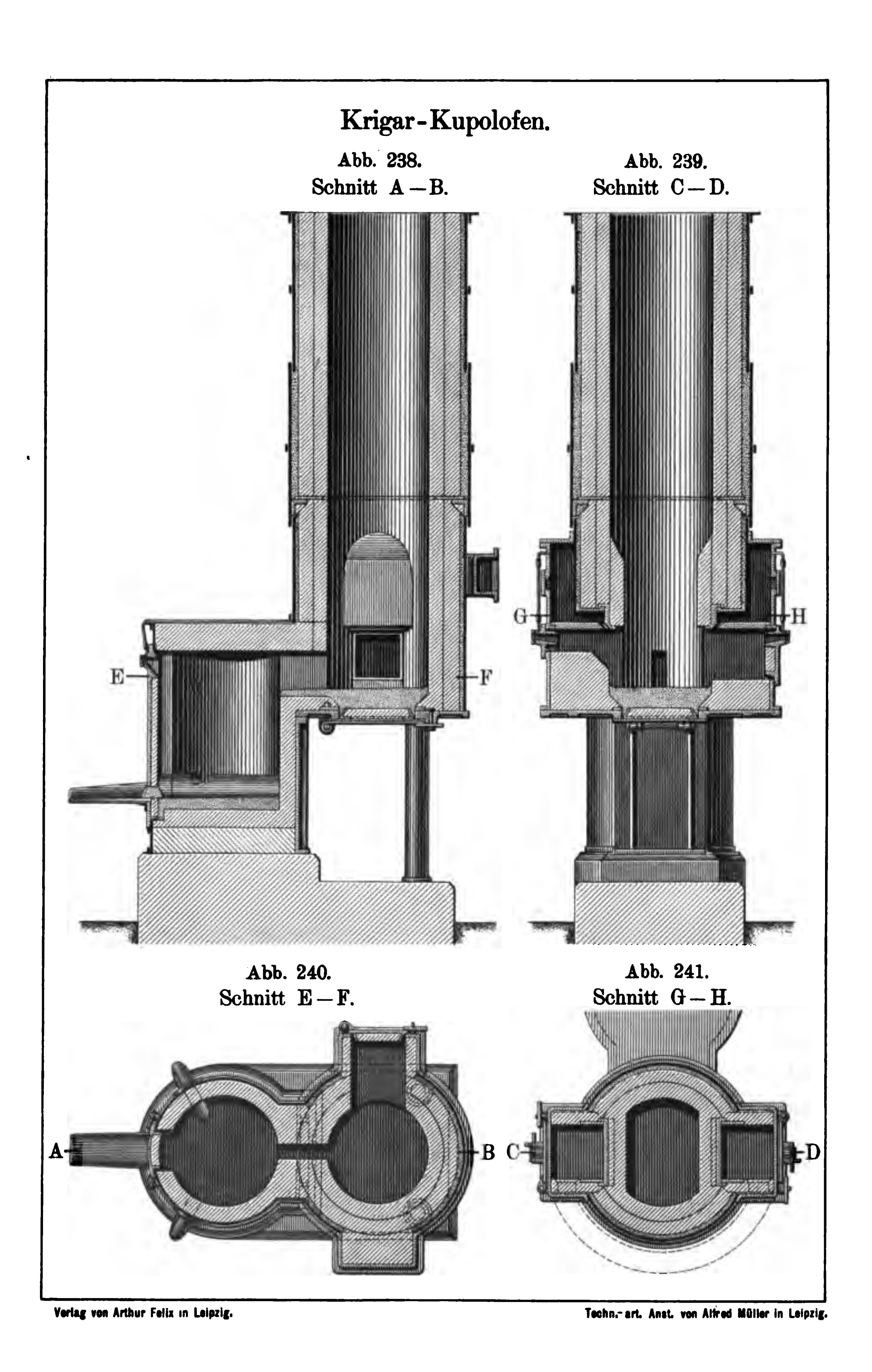
Ein Kupolofen mit Vorherd, Bodenklappe und eigentümlicher Windzuführung (Krigar-Kupolofen, von der Firma Krigar & Ihfsen in Hannover gebaut) ist in Abb. 238 bis 241 dargestellt. Der Wind gelangt aus dem in Abb. 238 rechts sichtbaren Zuflufsrohre in einen rings um den Ofen herumlaufenden Verteilungskanal (in Abb. 239 im Schnitte sichtbar) und von hier durch zwei schräg abwärts führende breite Schlitze in den Ofen[1]). Damit er leichter bis zur Mitte vordringen könne, ist der Ofenschacht an dieser Stelle verengt (Abb. 241). Ein kleiner Teil des Windes wird durch enge Röhren den in Abb. 239 sichtbaren Schauöffnungen zu- und von hier in den Ofen geführt. Die Einrichtung der Bodenklappe, welche in bequemer Weise die Entleerung des Ofens nach dem Schmelzen von zurückgebliebenen Koks und Schlacken ermöglicht, ist aus Abb. 238 und 239 ersichtlich. Der durch einen Kanal mit dem Ofen verbundene Vorherd ist wie dieser mit einem Blechmantel umgeben; an seiner Vorderseite befindet sich eine Tür mit der Abstichöffnung für das Roheisen, und zwei seitlich angebrachte, höher liegende Stichöffnungen dienen zum Ablassen der auf dem Roheisen schwimmenden Schlacke (Abb. 238 und 240).

Je gröfser der Durchmesser des Ofens ist, desto schwieriger gelangt der Wind bei den beschriebenen Ofenformen bis zur Ofenmitte, desto gröfser ist demnach die Gefahr, dafs die hier befindlichen Kohlen unverbrannt bleiben und der Ofenquerschnitt nicht voll ausgenutzt werde. Eine zur Beseitigung des Übelstandes übermäfsig gesteigerte Windspannung aber würde eine vermehrte Kohlenoxydbildung veranlassen. Bei der in Abb. 242 dargestellten, von dem Amerikaner West[2]) eingeführten Einrichtung des Kupolofens wird der Übelstand dadurch vermieden, dafs ein Teil des Windes von der Mitte aus in den Ofen geführt wird. Das Zuleitungsrohr *a* ist mit feuerfestem Ton in dicker Schicht umkleidet, welcher durch Längsrippen und darübergelegte Schmiedeeisenringe festgehalten wird; darüber befindet sich die pilzförmige Haube *b*, aus Gufseisen in einer Stärke von 30 mm gefertigt und mit aufgegossenen Rippen versehen, welche zum Festhalten der Tonbekleidung dienen. Sie wird durch drei 30 mm starke Schmiedeeisenstäbe getragen, welche in das Rohr eingesteckt werden. In dem Fufse des Windrohrs ist eine durch einen Deckel verschlossene Öffnung zur Entfernung von Schlacken und Koksstücken angebracht. Der äufsere Wind wird durch sechs Schlitze von je 406 mm Breite und 75 mm Höhe eingeführt.

---

[1]) Bei den älteren, durch H. Krigar in den sechziger Jahren des neunzehnten Jahrhunderts eingeführten Öfen, welche jetzt noch zum Teil im Betriebe sind und befriedigende Ergebnisse liefern, tritt der Wind, statt durch Schlitze, durch die ganze breite und bis auf die Sohle reichende Öffnung ein.

[2]) Th. D. West, Metallurgy of cast iron, Cleveland 1897, S. 195.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig. Techn.-art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

Der abgebildete Ofen hat 1675 mm innere Weite; das Windeinströmungsrohr hat am oberen Ende einen Durchmesser von 200 mm, der Abstand der Haube von der Mündung des Rohrs beträgt 63 mm. Der Ofen ist, wie der zuvor abgebildete Krigarofen, mit Bodenklappe versehen. Mehrere solcher Öfen sind auf amerikanischen Werken seit 1893 im Betriebe und sollen sich gut bewährt haben.

c) Das Schmelzen und die Betriebsergebnisse.

Als Brennstoffe dienen, wie oben erwähnt wurde, Koks. Holzkohlen kommen nur in Ländern zur Verwendung, wo die Beschaffung geeigneter Schmelzkoks mit unverhältnismäſsig groſsen Schwierigkeiten und Kosten verknüpft sein würde. Man gebraucht zum Schmelzen der gleichen Menge Roheisen doppelt bis dreimal so viel Holzkohlen als Koks.

Das Arbeitsverfahren ist ziemlich einfach.

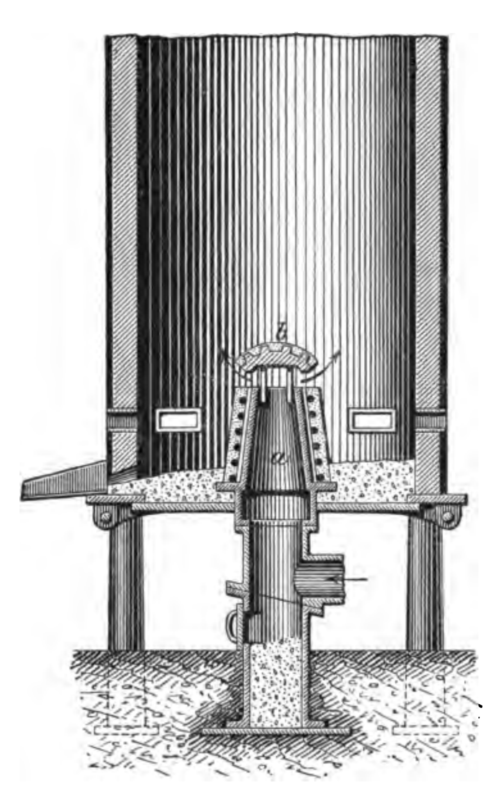


Abb. 242.

Nachdem der Schacht und Herd vorgerichtet worden sind, entzündet man auf dem Boden des Herdes ein Feuer aus Holz, Torf oder sonstigen leicht entzündlichen Brennstoffen, schüttet dann allmählich Koks in die Glut, damit auch diese sich entzünden, und füllt nun den Ofen bis etwa zur Hälfte seiner Höhe mit Koks. Den Koks setzt man eine zur Verschlackung ihres Aschengehalts und zur Bindung des Schwefelgehalts ausreichende Menge Kalkstein zu. Auf je 1 Gewichtsteil Asche kann man $1^{1}/_{2}$ bis 2 Gewichtsteile Kalkstein rechnen; bei Verwendung von Koks mit 10 v. H. Asche würden also auf je 100 Gewichtsteile Koks 15 bis 20 Gewichtsteile Kalkstein zuzuschlagen sein. Eine etwas reichliche Bemessung des Kalksteinzuschlags schadet nicht. Versäumt man, schon den Füllkoks Kalkstein zuzuschlagen, so ist das zuerst im Herde ankommende Roheisen, welches zwischen den Koks hindurch seinen Weg nimmt, fast immer schwefelreich und deshalb dickflüssig, weiſs, hart.

Durch das noch offene Stichloch, sowie durch etwa offen gelassene Schauöffnungen läfst man inzwischen Luft zuströmen, um das Feuer zu unterhalten. Sind die Koks vor den Windöffnungen in volle Glut gekommen, so kann der Ofen mit abwechselnden Gichten von Koks und Roheisen vollständig gefüllt und dann das Gebläse angelassen werden. Jeder Koksgicht wird wieder ein entsprechender Zuschlag von Kalkstein gegeben. Man bläst sogleich mit voller Spannung. Das Stichloch bleibt vorläufig noch geöffnet, so dafs ein Teil der Gase hier entweichen und den Herd anwärmen kann. Damit dieses Ziel erreicht und das zuerst ankommende Roheisen nicht etwa durch die Berührung mit den kälteren Herdwänden abgekühlt werde, darf der Durchmesser des Stichloches nicht zu eng sein. Mitunter hat man es sogar zweckmäfsig gefunden, zur Erzielung einer starken Vorwärmung des Herdes an seinem Umfange mehrere Austrittsöffnungen für die Gase anzubringen. Wenn das Roheisen anfängt auszufliefsen, werden das Stichloch und die etwa sonst noch angebrachten Öffnungen durch Tonpfropfen geschlossen, und das Schmelzen nimmt nunmehr ununterbrochen seinen Fortgang. Das geschmolzene Roheisen nebst der angesammelten Schlacke werden von Zeit zu Zeit, wie es der Bedarf an flüssigem Roheisen erheischt, durch Öffnen des Stichloches entfernt.

Das Verhältnis zwischen der Gröfse der Roheisen- und Koksgichten richtet sich nach der Beschaffenheit der Koks, der Einrichtung des Ofens, der Windführung und der Überhitzung, welche das geschmolzene Roheisen erhalten soll. In den günstigsten Fällen kann man 20 Gewichtsteile Roheisen mit 1 Gewichtsteil Koks schmelzen; häufiger beträgt der Roheisensatz nur das 10 bis 15fache vom Gewichte der Koks; dauert das Schmelzen längere Zeit (in Bessemer- und Thomashütten), so pflegt jenes Verhältnis ungünstiger zu sein als bei einem Schmelzen von wenigen Stunden, wo die von den Füllkoks beim Beginne des Schmelzens entwickelte reichliche Wärmemenge eine anfängliche starke Erhitzung des ganzen Ofens herbeiführt, die alsdann auch dem schmelzenden Roheisen zugute kommt. Fehlerhaft würde es deshalb sein, wenn man etwa, wie beim Anblasen eines Hochofens, mit schwächeren Roheisengichten beginnen und später den Satz steigern wollte.

Die zweckmäfsigste Gröfse der Koksgichten hängt vom Gichtdurchmesser ab. Als passendes Verhältnis kann man für je 1 qm Gichtquerschnitt einen einmaligen Kokssatz von 80 kg rechnen und den Roheisensatz den oben besprochenen Verhältnissen entsprechend bemessen. Die Erfahrung mufs schliefslich für die zulässige Höhe des Roheisensatzes den Ausschlag geben.

Mit dem Aufgichten von Koks, Roheisen und Kalkstein wird so lange fortgefahren, als das Schmelzen währen soll. Alsdann bläst man nieder, öffnet, wenn alles Roheisen geschmolzen ist, den Ofen, räumt die noch rückständigen Koks aus (welche nach dem Ablöschen mit Wasser wieder zum Füllen benutzt werden können) und läfst den Ofen erkalten, um am folgenden Tage das Schachtfutter und die Herdsohle einer Ausbesserung zu unterziehen.

Kupolöfen mittlerer Gröfse können stündlich 4 bis 6 t Roheisen, sehr grofse Öfen 30 t und darüber schmelzen, wobei der Brennstoffverbrauch einschliefslich der benutzten Füllkoks 70 bis 150 kg für eine Tonne geschmolzenes Roheisen beträgt. Kupolöfen für Giefsereien werden gewöhnlich nur stundenweise in Benutzung genommen; Kupolöfen für Bessemer- und Thomashütten werden mehrere Tage hindurch in ununterbrochenem Betriebe erhalten, bis eine Ausbesserung des Ofenfutters sich erforderlich macht.

Durch Oxydation und mechanische Verluste entsteht eine Verminderung des Roheisengewichts (Abgang), welche gewöhnlich 2 bis 6 v. H. des Einsatzgewichts beträgt[1]).

Vergleicht man die mitgeteilten Betriebsergebnisse des Kupolofenschmelzens mit denen des Flammofenschmelzens, so ergibt sich zunächst, dafs die Wärmeausnutzung im Kupolofen bedeutend günstiger ist. Der Kupolofen ist aber auch bequemer für die Benutzung, da man nach Belieben gröfsere oder kleinere Mengen Roheisen in ihm schmelzen und in jedem Augenblicke ihm geschmolzenes Metall entnehmen kann, und endlich ist die chemische Beeinflussung, welche das schmelzende Roheisen erfährt, im Kupolofen durchschnittlich weniger erheblich als im Flammofen, wie sogleich eingehender erörtert werden soll.

Daher bildet die Benutzung des Kupolofens zum Umschmelzen von Roheisen die Regel, die Benutzung eines Tiegel- oder Flammofens die Ausnahme, welche allerdings durch besondere, oben erläuterte Umstände ihre Berechtigung erhalten kann.

d). Der chemische Verlauf des Kupolofenschmelzens.

Je mehr Kohlendioxyd und je weniger Kohlenoxyd bei der Verbrennung des Brennstoffs im Kupolofen gebildet wird, desto günstiger ist zwar die Ausnutzung des Brennstoffs, aber desto stärker auch die Oxydationswirkung des Gasstroms auf das schmelzende Roheisen. In den mit reichlichem Brennstoffaufwande betriebenen Kupolöfen der Zeit bis zur Mitte des neunzehnten Jahrhunderts fand nur unbedeutende oder gar keine Oxydation statt.

Die Änderungen, welche das Roheisen beim Schmelzen in modernen Kupolöfen erfährt, sind demnach denen ähnlich, welche das Flammofenschmelzen bewirkt; aber ihr Mafs ist auch in einem mit sehr geringem Brennstoffaufwande schmelzenden Kupolofen geringer. Während das Metall im Flammofen stundenlang der Einwirkung der heifsen Verbrennungsgase preisgegeben ist, schmilzt

---

[1]) Den „Abbrand" allein, d. h. den durch Verbrennung von Eisen, Silicium und Mangan entstandenen Verlust berechnet Wüst zu 0,8 bis 1,6 v. H. des Roheisengewichts („Stahl und Eisen" 1904, S. 31.) Hierzu kommen die mechanischen Verluste beim Giefsen, sowie der oft nicht unbeträchtliche Gewichtsverlust, welcher durch Verschlackung des an den Roheisenstücken haftenden und mit ihnen gewogenen Sandes veranlafst wird.

es im Kupolofen meistens in längstens 30 Minuten, sickert zwischen den glühenden Koksstücken hindurch, welche ihm immerhin einen gewissen Schutz bieten, und sammelt sich unterhalb des Verbrennungsraumes, durch die reichlich gebildete Schlacke vor weiterer Verbrennung nunmehr gesichert.

Wie beim Flammofenschmelzen wird ein Teil des in reichem Überschusse anwesenden Eisens und daneben des Mangans und Siliciums verbrannt.

Die Verbrennung des Mangans wird auch hier durch die Berührung mit den kieselsäurereichen Ofenwänden befördert. Ein mäfsiger Mangangehalt vermag daher, indem er selbst der Verbrennung sich aussetzt, das Silicium vor Verbrennung zu schützen, und bei sehr hohem Mangangehalte und niedrigem Siliciumgehalte kann sogar der Fall eintreten, dafs noch Silicium aus der Schlacke durch Mangan reduziert wird.

So z. B. fand E. v. Köppen beim einmaligen Umschmelzen verschiedener manganreicher Roheisensorten im Kupolofen nachstehende Änderungen der chemischen Zusammensetzung[1]):

	Vor dem Umschmelzen			Nach dem Umschmelzen		
	Mn	C	Si	Mn	C	Si
Spiegeleisen	14,81	3,98	0,14	8,91	4,18	0,50
desgl.	14,25	4,40	0,12	10,52	4,62	0,49
desgl.	14,98	4,48	0,12	11,06	4,60	0,42
desgl.	16,24	4,62	0,40	10,98	4,96	0,66
desgl.	14,98	3,68	0,88	12,08	3,67	0,41
Graues Bessemerroheisen	3,67	4,58	2,27	2,58	4,67	2,44

In allen Fällen fand hier neben starkem Manganverluste eine Zunahme des Silicium- und auch Kohlenstoffgehaltes statt, welche sich zwar teils aus der Verringerung der Gesamtmenge des Roheisens, teils aber auch aus der stattgehabten Siliciumreduktion durch Mangan erklärt.

Beim Verschmelzen weniger manganreichen Roheisens als bei den vorstehend erwähnten Versuchen läfst ein Vergleich des Verhaltens verschiedener Roheisensorten den Einflufs des Mangans in der Regel doch auch insofern erkennen, als das manganreichere Roheisen weniger Silicium als das manganärmere verliert.

In Gutehoffnungshütte wurden durch Scheffer in einem kleinen Kupolofen mit gewöhnlichem kieselsäurereichem Futter drei verschiedene Sorten grauen Roheisens je einem viermaligen Umschmelzen unterzogen. Die Zusammensetzung vor dem ersten und nach dem vierten Umschmelzen war folgende[2]):

[1]) Dinglers polyt. Journal, Band 232, S. 53.

[2]) Die Zusammenstellung der Ergebnisse sämtlicher Untersuchungen (auch nach dem ersten, zweiten und dritten Umschmelzen) findet der Leser im Jahrbuche für Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1880, S. 5.

Name des Roheisens	Vor dem Umschmelzen C	Si	Mn	Cu	P	Nach dem Umschmelzen C	Si	Mn	Cu	P
Gutehoffnungshütte I.	4,15	2,05	0,77	0,06	0,61	3,46	1,55	0,12	0,05	0,72
Coltness I	4,06	2,52	1,27	0,05	0,73	3,49	2,08	0,46	0,06	0,87
Gleiwitz	4,17	1,52	2,08	0,07	0,33	3,68	1,33	0,73	0,07	0,47

Das manganreichste Roheisen verliert auch die gröfste Menge Mangan; aber je mehr Mangan austritt, desto unbedeutender ist die Beeinflussung des Siliciumgehalts. Das manganarme Roheisen von Gutehoffnungshütte verliert 0,50 v. H. Silicium, während das manganreiche Gleiwitzer Roheisen nur 0,19 v. H. einbüfst. Bezieht man die Verringerung des Siliciumgehalts auf dessen ursprünglichen Betrag, so findet man, dafs von diesem

bei Gutehoffnungshütte	Coltness	Gleiwitz
24,6 v. H.	17,6 v. H.	12,7 v. H.

austraten. Es erklärt sich hieraus, dafs, obgleich ein Mangangehalt an und für sich dem Roheisen die Neigung erteilt, weifs, hart zu werden, doch ein graues Roheisen ein um so öfteres Umschmelzen in Öfen mit kieselsäurereichem Futter erträgt, ohne infolge des Siliciumverlustes weifs zu werden, je reicher es ursprünglich an Mangan war.

Dafs durch reichlichen Kalkzuschlag die Neigung des Mangans, zu verbrennen, abgemindert, die des Siliciums gesteigert werden kann, läfst sich annehmen, ohne dafs bis jetzt überzeugende Versuche darüber vorliegen.

Falls diese eintretende Abnahme des Mangan- und Siliciumgehalts beim Kupolofenschmelzen die Verwendbarkeit des Roheisens für diesen oder jenen Zweck beeinträchtigen sollte, läfst sich Ausgleich schaffen, indem man ein entsprechend mangan- oder siliciumreicheres Roheisen zum Umschmelzen verwendet. Von diesem Mittel wird z. B. in den Eisengiefsereien ein ausgiebiger Gebrauch gemacht. Für die meisten Gufswaren ist ein mäfsig graphitreiches und deshalb durch schneidende Werkzeuge (Meifsel, Drehstahl u. a.) leicht bearbeitbares Eisen erforderlich. Da der Graphitgehalt nur bei einem gewissen Siliciumgehalte bestehen kann, dieser aber beim Umschelzen sich verringert, wird das Roheisen beim Umschmelzen auch graphitärmer, und ein Eisen, welches an und für sich gut brauchbar für einen bestimmten Zweck wäre, würde an Brauchbarkeit verlieren, wenn es zuvor umgeschmolzen werden müfste. Ein mehrmals wiederholtes Umschmelzen würde schliefslich eine Umwandlung des grauen Roheisens in siliciumarmes, weifses Eisen bewirken. Man schmelzt also ein an Silicium um so viel reicheres Roheisen ein, als dem Siliciumverluste beim Umschmelzen entspricht. Nun ist man aber vielfach gezwungen, auch ein siliciumärmeres Eisen, insbesondere ein schon umgeschmolzenes Roheisen — Abfälle in der Giefserei, Ausschufsstücke und dergleichen —

mit aufzuarbeiten, und gerade für diesen Fall gelangt der Wert jenes früher besprochenen silicium- und graphitreichen Roheisens zur Geltung, welches als Nr. I in den Handel kommt und durch dessen Zusatz der fehlende Siliciumgehalt wieder gedeckt wird. Es ist aus diesem Grunde unentbehrlich in allen den Eisengiefsereien, welche das Roheisen in Kupolöfen umschmelzen. Dafs auch durch Zusatz einer geringen Menge Siliciumeisen sich der gleiche Zweck erreichen läfst, ist selbstverständlich; aber die Anwendung dieses Mittels ist etwas kostspieliger.

Ebenso wie in der Giefserei verfährt man beim Umschmelzen des Roheisens für andere Verfahren, bei denen ein bestimmter Siliciumgehalt des geschmolzenen Metalls erforderlich ist (Bessemern).

Der Kohlenstoffgehalt des Roheisens unterliegt beim Umschmelzen keinen erheblichen Änderungen. Er kann sich etwas verringern, wenn er ursprünglich hoch und das Roheisen manganarm war; er kann auch durch Aufnahme aus den weifsglühenden Brennstoffen, über welche das Roheisen hinwegrieselt, eine Anreicherung erfahren, wenn das Roheisen noch nicht den seinem Sättigungsvermögen entsprechenden Kohlenstoffgehalt besafs und das Schmelzen mit einem reichlichen Aufwande von Brennstoff stattfand. Ein hoher Mangangehalt schützt auch den Kohlenstoffgehalt vor dem Verbrennen. Aus diesen Gründen ist bei Köppens oben mitgeteilten Versuchen der Kohlenstoffgehalt nach dem Umschmelzen (bei welchem die Gesamtmenge des Metalls, in welchem der Kohlenstoff enthalten ist, sich verringert) durchgängig etwas höher, bei Scheffers Versuchen dagegen niedriger geworden. Jüngst fand nach sechsmaligem Umschmelzen eines Roheisens, dessen Kohlenstoffgehalt nur 3,10 v. H. betrug, also ziemlich niedrig war, eine stattgehabte Anreicherung auf 3,84 v. H., während der Mangangehalt von 2,00 auf 0,86, der Siliciumgehalt von 2,80 auf 1,16 v. H. gesunken war[1]). Je tiefer der Kohlenstoffgehalt des Roheisens vor dem Umschmelzen unter dem Sättigungspunkte liegt, desto leichter findet eine Kohlenstoffaufnahme durch die Berührung mit den glühenden Kohlen statt, auch wenn die Oxydationswirkung des Ofens so kräftig sein sollte, dafs von dem Mangan- und Siliciumgehalte ein reichlicher Teil austritt.

Aus diesem Grunde ist es auch nicht möglich, schmiedbares Eisen im Kupolofen zu schmelzen, ohne dafs dieses sich durch Aufnahme reichlicher Mengen Kohlenstoff in Roheisen umwandelt. Stahlabfälle, welche zur Erzeugung des in der dritten Abteilung besprochenen Temperstahlgusses im Kupolofen geschmolzen waren, enthielten nach öfteren von mir angestellten Untersuchungen nach dem Schmelzen nie weniger als 2,9, häufig mehr als 3,3 v. H. Kohlenstoff.

Der Phosphorgehalt des Roheisens verringert sich beim Schmelzen in Kupolöfen mit kieselsäurereichem Futter in der Regel nicht; da aber die Menge des Roheisens, in welchem er verteilt ist, durch Verbrennen von Eisen, Mangan und Silicium beim Schmelzen abnimmt, erscheint der Phosphorgehalt nach dem

---

[1]) C. Jüngst, Schmelzversuche mit Ferrosilicium, S. 98.

Schmelzen meistens in höherer Ziffer als zuvor. Scheffers oben mitgeteilte Versuche können auch hierfür als Beispiele dienen. Auch bei folgenden von C. Müller veröffentlichten Versuchsergebnissen[1]) zeigt sich diese Zunahme des Phosphorgehalts:

	Gesamt C	Graphit	Si	Mn	P	S
Roheisen vor dem Umschmelzen . .	3,89	3,61	2,97	0,71	0,68	0,024
„ nach sechsmaligem „ . . .	3,56	2,64	1,65	0,35	0,75	0,056

Beim Umschmelzen sehr phosphorreichen und siliciumarmen Roheisens (Thomasroheisens) kann dagegen eine, wenn auch nicht erhebliche Abnahme des Phosphorgehalts eintreten, zumal wenn das Schmelzen im stark oxydierenden Gasströme (bei geringem Brennstoffaufwande) stattfindet, so dafs eine an Eisenoxydul reiche Schlacke entsteht. Auf einem rheinischen Werke war z. B. die durchschnittliche, durch Untersuchung mehrerer Proben ermittelte Zusammensetzung des Roheisens vor und nach dem Schmelzen[2]):

	C	Si	P	Mn	S
Vor dem Schmelzen	3,32	0,60	1,59	1,70	0,06
Nach „ „	3,11	0,37	1,40	1,19	n. best.

Ähnliche Ergebnisse erhielt man bei Untersuchungen auf anderen Werken[3]). In allen diesen Fällen findet sich der verbrannte Phosphorgehalt in der miterfolgenden Schlacke wieder (vergleiche die unten gegebenen Analysen von Kupolofenschlacken).

Der Schwefelgehalt kann beim Kupolofenschmelzen eine Anreicherung erfahren, sofern man versäumt, einen dem Schwefelgehalte der Koks entsprechenden Kalksteinzuschlag zu geben. Je manganärmer das Roheisen ist, desto leichter findet eine solche Schwefelaufnahme statt. Bei Jüngsts oben erwähnten Versuchen blieb der ursprüngliche Schwefelgehalt (0,06 v. H.) bei den ersten drei Umschmelzen annähernd unverändert, stieg nach dem vierten Umschmelzen auf 0,10 und nach dem sechsten Umschmelzen auf 0,20 v. H. Auch die mitgeteilten Versuchsergebnisse Müllers zeigen eine Anreicherung des Schwefelgehalts nach sechsmaligem Umschmelzen, obschon nicht in dem Mafse, wie bei Jüngsts Versuchen. Dagegen fand Wüst, dafs der Schwefelgehalt eines Roheisens, welches, ohne Kalksteinzuschlag im Kupolofen geschmolzen, 0,128 v. H. Schwefel enthielt, nur noch 0,085 v. H. betrug, als man den Koks 30 v. H. ihres Eigengewichts Kalkstein zugeschlagen hatte[4]).

1) „Stahl und Eisen" 1895, S. 154.
2) Persönliche Mitteilung.
3) „Stahl und Eisen" 1895, S. 135.
4) „Stahl und Eisen" 1904, S. 29.

Der Gehalt des Roheisens an Kupfer, Nickel, Arsen, Antimon erfährt keine deutlich wahrnehmbaren Veränderungen.

Aus den verbrannten Bestandteilen des Roheisens, den aufgelösten Bestandteilen des Ofenfutters und dem zugesetzten Kalk entsteht eine Schlacke, deren Zusammensetzung ziemlich abweichend sein kann, je nachdem man viel oder wenig Kalkstein zuschlug, viel oder wenig Brennstoff gebrauchte, ein manganreicheres oder manganärmeres Roheisen verschmolz. Je höher der Mangangehalt des Roheisens ist, desto mehr bleibt das Eisen vor der Verbrennung geschützt, desto eisenärmer fällt die Schlacke aus. Auch bei reichlichem Kalksteinzuschlage entsteht eine eisenärmere Schlacke als bei geringerem Zusatze, weil die Schlackenmenge, von der das verbrannte Eisen aufgenommen wird, beträchtlicher ist. Einge Beispiele der Zusammensetzung von Kupolofenschlacken mögen als Erläuterung hierfür dienen.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Kieselsäure	60,05	56,04	55,01	50,77	55,15	37,05	37,55
Tonerde	18,00	11,55	11,61	13,24	6,74	11,08	9,45
Eisenoxydul	4,61	15,84	14,91	18,52	9,14	1,59	9,64
Manganoxydul	8,29	4,02	1,06	3,58	6,78	14,09	18,68
Kalkerde	6,29	9,74	15,05	12,75	18,78	29,64	18,54
Magnesia	0,25	0,51	0,49	0,75	n. best.	0,79	0,74
Kaliumoxyd	n. best.	n. best.	n. best.	n. best	„	n. best	n. best.
Calcium	0,41	0,21	0,28	„	0,29	1,98	0,88
Schwefel	0,33	0,17	0,22	„	0,28	1,58	0,70
Phosphorsäure	—	—	—	—	—	0,10	3,20

Nr. 1 ist eine Kupolofenschlacke aus früherer Zeit, als „gare“ Kupolofenschlacke bezeichnet; von mir untersucht. Sie ist jedenfalls bei dem Betriebe mit Holzkohlen und bei hohem Brennstoffaufwande — also in kohlenoxydreichem Gasstrome — auch bei nur geringem Kalksteinzuschlage erfolgt. — Nr. 2 und 3 sind Schlacken aus hannoverschen Eisengiefsereien, von Fischer untersucht[1]. — Nr. 4 und 5 sind Schlacken von Giefsereikupolöfen, von mir untersucht. — Nr. 6 ist die Schlacke eines Kupolofens, welcher weifses phosphorreiches Roheisen für das Thomasverfahren einschmolz; von mir untersucht. — Nr. 7 ist ebenfalls die Schlacke eines für das Thomasverfahren betriebenen Kupolofens. Das verschmolzene Roheisen enthielt 2,0 v. H. Mn, 0,5 v. H. Si, 2,75 v. H. Phosphor. Nach Schilling[2].

Die kalkreichste Schlacke (Nr. 6) ist hier auch die schwefelreichste. Tatsächlich ist in diesem Falle nicht allein der Schwefelgehalt der Koks von der Schlacke aufgenommen worden, sondern auch der Schwefelgehalt des Roheisens hat sich verringert. Er besafs vor dem Schmelzen das ungewöhnlich hohe Mafs von 0,42 v. H., nach dem Schmelzen nur noch 0,09 v. H. Von den beiden Schlacken, welche beim Schmelzen phosphorreichen Weifseisens entstanden (Nr. 6 und 7), ist diejenige die phosphorreichste, welche den gröfsten Eisenoxydulgehalt besitzt.

Manganreiche Kupolofenschlacken benutzt man bisweilen als Zusatz zum Hochofenschmelzen, um ihren Mangangehalt zu verwerten. Auch zu Bauzwecken werden die Kupolofenschlacken mitunter wie Hochofenschlacken (S. 284) verwendet; im ganzen ist

[1]) Dinglers polyt. Journal, Band 231, S. 38.
[2]) „Stahl und Eisen“ 1895, S. 135.

ihre Verwendung minder wichtig als die der Hochofenschlacken, weil sie in weniger grofser Menge erfolgen.

Die beim Kupolofenschmelzen erzielte Ausnutzung des Brennstoffs spiegelt sich in der Zusammensetzung der Gichtgase. Je mehr Kohlendioxyd und je weniger Kohlenoxyd sie enthalten, desto mehr Wärme wurde durch die gleiche Brennstoffmenge entwickelt.

Beispiele der Zusammensetzung:

	Stickstoff	Kohlensäure	Kohlenoxydgas	Sauerstoff
	Raumteile			
Gase aus älteren Kupolöfen (1844); nach Ebelmen[1]	73,86	11,65	14,16	—
Wie vorstehend	73,96	11,60	13,56	—
Gase eines Krigarofens; Mittelwerte aus 20 Untersuchungen. Nach Fischer[2]	79,7	16,4	3,9	—
Gase eines anderen Krigarofens; Mittelwerte aus 6 Untersuchungen. Nach Fischer[2]	81,6	13,3	5,1	—
Gase eines neueren Kupolofens, Mittelwerte aus 7 Untersuchungen. Nach Fischer[2]	79,5	13,1	7,4	—
Wie vorstehend. Mittelwerte aus 15 Untersuchungen. Nach Fischer[2]	78,5	15,1	6,4	—
Gase eines Irelandofens. Nach Beckert[3]	n. best.	13,8	4,0	—
Wie vorstehend	„	12,5	11,7	—
Wie vorstehend	„	15,0	8,0	—
Gase eines Kupolofens von Greiner & Erpf[4]	79,9	18,7	1,2	—
Gase eines Saugkupolofens von Herbertz. Nach Beckert[3]	n. best.	10,5	—	6,7
Wie vorstehend	„	11,7	3,4	8,2

In dem Ofen von Greiner & Erpf und in dem Herbertzofen hat demnach die vollständigste Verbrennung stattgefunden; in dem letzteren freilich unter Zuführung eines reichlichen Luftüberschusses, also unter Verbrauch einer entsprechend gröfseren Dampfmenge zur Erzeugung des Luftwechsels.

2. Die Läuterung des Roheisens und seine Verbesserung durch Mischen.

A. Allgemeines.

Wenn das Roheisen Fremdkörper enthält, welche bei seiner späteren Verarbeitung nachteilig sind, kann eine jener Verarbeitung vorausgehende Behandlung des Roheisens, durch welche die Fremdkörper ganz oder teilweise ausgeschieden werden, von Nutzen sein. Dieses Reinigungsverfahren nennt man Feinen oder Läutern des Roheisens. Es kommt vorzugsweise bei solchem Roheisen zur

[1]) Annales des mines, Reihe 4, Band 5, S. 61.
[2]) Dinglers polyt. Journal, Band 231, S. 38.
[3]) „Stahl und Eisen“ 1886, S. 557.
[4]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1888 II, S. 247.

Anwendung, welches für die Verarbeitung zu schmiedbarem Eisen bestimmt ist.

Die Körper, welche sich ganz oder teilweise ausscheiden lassen, ohne dafs auch der Kohlenstoffgehalt austritt [1]), sind vornehmlich Silicium, Mangan, Phosphor, Schwefel. Nicht ausscheidbar sind Kupfer, Nickel, Kobalt, Arsen, Antimon, wie früher erläutert wurde.

Auch ohne Ausscheidung von Fremdkörpern läfst sich das Roheisen mitunter besser geeignet für bestimmte Zwecke machen, indem man es im flüssigen Zustande mit anders zusammengesetztem Roheisen mischt. Wenn man z. B. Roheisen unmittelbar aus dem Hochofen, ohne es umzuschmelzen, weiter verarbeiten will, so wird das Verfahren durch den Umstand erschwert, dafs bei verschiedenen Abstichen oft Roheisen abweichender Zusammensetzung erfolgt. Das bei kaltem Gange erblasene ist ärmer an Mangan und Silicium, reicher an Schwefel als das bei heifsem Gange erzeugte. Ein Ausgleich und dadurch eine Verbesserung der Beschaffenheit des minderwertigen Roheisens läfst sich bewirken, wenn man das bei mehreren Abstichen, am geeignetsten auch aus mehreren Hochöfen gewonnene Roheisen flüssig erhält, um es zu mischen und dann erst seiner Bestimmung zuzuführen. Das Verfahren hierfür ist unten beschrieben.

B. Die Ausscheidung des Siliciums und Mangans.

Beim Flammofen- und Kupolofenschmelzen findet eine teilweise Ausscheidung von Silicium und Mangan statt; durch Verstärkung der Oxydationswirkung, also durch Einleiten von Luft oder durch Zusatz sauerstoffabgebender Körper, z. B. Eisenoxyd, läfst sich eine vollständigere Ausscheidung erzielen.

Der eigentliche Zweck des Verfahrens pflegt die Entfernung des Siliciums zu sein; diese aber läfst sich nicht bewirken, ohne dafs auch die gröfste Menge des Mangans mit verbrannt wird, und wie beim gewöhnlichen Schmelzen im Flamm- oder Kupolofen geht auch eine gewisse Menge des Eisens mit in die Schlacke, sofern die Verbrennung durch freien Sauerstoff bewirkt wird.

In früherer Zeit, als graues Roheisen für die Giefserei das Erzeugnis der meisten Hochöfen bildete, und man fast nur das für die Giefserei entbehrliche Roheisen auf schmiedbares Eisen verarbeitete, spielte das Feinen des grauen Roheisens eine ziemlich wichtige Rolle [2]). Indem man es seines Siliciumgehalts (und Mangangehalts, falls solcher zugegen war) beraubte, das graue Roheisen in weifses Roheisen umwandelte, kürzte man den Verlauf des späteren Frischverfahrens, die Ausscheidung des Kohlenstoffs, ab; der Frischofen wurde stärker ausgenutzt, seine Leistung

---

[1]) Eine Ausscheidung des Kohlenstoffgehalts würde gleichbedeutend sein mit einer Darstellung schmiedbaren Eisens aus Roheisen. Das Verfahren würde zu den Frischverfahren gehören, welche in der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde Besprechung finden.

[2]) Der Ausdruck „Feinen" ist hier im engeren Sinne: Ausscheidung des Siliciums, gebraucht, wie es früher üblich war, bevor man auch Phosphor und Schwefel auszuscheiden gelernt hatte.

vergröfsert. Seitdem aber der Bedarf an schmiedbarem Eisen und somit auch an weifsem Roheisen gegen früher erheblich gestiegen ist, und seitdem man gelernt hat, mit gröfserer Sicherheit als früher Roheisen von bestimmter Beschaffenheit im Hochofen zu erzeugen, hat auch das Feinen seine Bedeutung verloren. Denn die Erzeugung eines siliciumarmen Weifseisens im Hochofen ist nach früherem billiger als die Erzeugung von Graueisen; es würde widersinnig sein, zuerst Graueisen darzustellen, um es durch ein späteres Verfahren in Weifseisen umzuwandeln. Nur in Gegenden, wo besondere Verhältnisse, z. B. ein hoher Tonerdegehalt und geringer Mangangehalt der Erze, die Erzeugung eines siliciumarmen Weifseisens erschweren, findet man hier und da noch, wenn auch selten, die alten Verfahren in Anwendung.

Im Hochofen selbst bewirkt man mitunter das Feinen, indem man durch eine abwärts gerichtete Düse Wind auf die Oberfläche des im Herde stehenden Roheisens bläst. Das Verfahren ist beendet, wenn das Eisen anfängt, Funken zu werfen, ein Zeichen der eintretenden Verbrennung von Kohle. Oder man läfst durch die Formen feingepulverte Eisenerze oder eisenoxydreiche Frischschlacken vom Winde in den Ofen blasen, welches Verfahren man Futtern des Hochofens nennt. Es hat jedoch den Übelstand, dafs es häufig einen mehrtägigen Rohgang veranlafst. Bei Holzkohlenhochöfen, welche unmittelbar für die Giefserei betrieben werden, wendet man es trotzdem mitunter an, wenn das erblasene Roheisen zu siliciumreich ausgefallen ist und daher beim Erstarren allzu reichliche Mengen Graphit aussondert.

In Oberschlesien bediente man sich in den vierziger Jahren des 19. Jahrhunderts eines mit Gas geheizten Flammofens, auf dessen Herde das Roheisen geschmolzen und durch darüber geleiteten Gebläsewind gefeint wurde. Der Ofen wurde unter dem Namen Eckscher Feinofen ausführlich in Zeitschriften und metallurgischen Handbüchern besprochen[1]).

In anderen Fällen benutzt man ein niedriges, von gekühlten Gufseisenplatten eingeschlossenes Feuer zum Feinen[2]), in welchem das Roheisen unter hohem Koksverbrauche zwischen zwei einander gegenüberliegenden, abwärts gerichteten Düsen niedergeschmolzen wurde. Durch Zusatz eisenoxydreicher Schlacken beim Schmelzen beförderte man die Verbrennung des Siliciums. Man gebrauchte zum Schmelzen und Feinen von 1000 kg Roheisen etwa 300 kg Koks und hatte einen Abbrand von etwa 10 v. H. des Roheisengewichtes. Das Verfahren war demnach ziemlich kostspielig.

Gefeintes Roheisen besitzt weifse Farbe und ein feinkörniges Gefüge, dem des grellen Roheisens ähnlich. Sein Kohlenstoffgehalt pflegt 3 bis 3,5 v. H., sein Siliciumgehalt und sein Mangangehalt nicht über 0,2 v. H. zu betragen.

---

[1]) Z. B. in Karstens Archiv für Mineralogie 1843, S. 795; Berg- und hüttenmännische Zeitung 1843, S. 611; 1846, S. 833. Auch Wedding, Darstellung des schmiedbaren Eisens, S. 35.

[2]) Unter der Bezeichnung „englisches Feinfeuer" in zahlreichen Werken über Eisenhüttenkunde beschrieben und abgebildet, z. B. Kerl, Grundrifs der Eisenhüttenkunde, S. 282; Wedding, Darstellung des schmiedbaren Eisens, S. 28.

Die miterfolgende Schlacke ist reich an Eisenoxydul; übrigens enthält sie Manganoxydul, Kieselsäure (zum grofsen Teil aus dem Boden des Feinofens oder Feuers aufgelöst) und sonstige Nebenbestandteile; z. B.:

	1.	2.
Kieselsäure	25,77	36,80
Eisenoxydul	65,52	43,98
Manganoxydul	1,57	7,23
Tonerde	3,60	4,12
Kalkerde	0,45	4,51
Magnesia	1,28	1,16
Phosphorsäure	3,00	0,42

1. Englische Feinfeuerschlacke; nach Percy (Wedding, Darstellung des schmiedbaren Eisens, S. 33).
2. Feinfeuerschlacke aus Laurahütte, vom Verfasser untersucht.

C. Die Entphosphorung des Roheisens.

Bei den Verfahren der Schweifseisendarstellung aus Roheisen ist es zwar möglich, einen Teil von dessem Phosphorgehalte abzuscheiden, aber im allgemeinen bleibt das Enderzeugnis um so phosphorreicher, je höher der Phosphorgehalt des verwendeten Roheisens ist; bei den bis zum Jahre 1879 angewendeten Verfahren der Flufseisenerzeugung gelang eine Phosphorabscheidung überhaupt nicht.

Seitdem man die nachteiligen Einflüsse, welche ein Phosphorgehalt auf das Verhalten des schmiedbaren Eisens ausübt, erkannt hatte, ist man daher vielfach bemüht gewesen, durch ein Vorbereitungsverfahren dem für die Darstellung schmiedbaren Eisens bestimmten Roheisen seinen Phosphorgehalt ganz oder teilweise zu entziehen.

Eine Abscheidung des Phosphors vor dem Kohlenstoff ist möglich, wenn das geschmolzene Roheisen in einer seine Schmelztemperatur nicht erheblich übersteigenden Temperatur oxydierenden Einflüssen bei Anwesenheit stark basischer Schlacken ausgesetzt wird (S. 301 I). Mit dem Phosphor aber scheidet alles Silicium und der gröfste Teil des Mangans aus. Als Oxydationsmittel dienen am zweckmäfsigsten Eisenoxyde (Erze, Hammerschlag, eisenreiche Schlacken), weil diese zugleich die Bildung basischer und doch ausreichend schmelzbarer Schlacken ermöglichen.

In Berührung mit einem kieselsäurereichen Ofenfutter, aus welchem durch basische Körper stets Kieselsäure aufgelöst wird, kann eine ausreichend basische Schlacke nicht entstehen. Das Gefäfs oder der Ofen, in welchem die Entphosphorung vor sich geht, darf daher nicht mit kieselsäurereichen Ofenbaustoffen ausgekleidet sein.

Die Nichtbeachtung dieser Tatsache hat früher zu zahlreichen Mifserfolgen geführt. Die oben erwähnten Flammöfen zum Feinen des Roheisens wurden in der Hoffnung gebaut, dafs in dem oxydierenden Gasstrome auch eine Entphosphorung des Roheisens stattfinden werde; der Erfolg war, dafs der Phosphorgehalt eines Roheisens sich beim Schmelzen wegen des stattfindenden Abbrandes von Eisen von 0,49 auf 0,57 v. H. erhöhte. Etwas günstiger sind

die Verhältnisse im Feinfeuer, dessen Seitenwände aus gekühlten Gufseisenplatten bestehen, so dafs nur der aus Sand oder Masse gefertigte Boden Kieselsäure abgibt. Die oben mitgeteilten Schlackenanalysen zeigen, dafs wenigstens eine beschränkte Menge Phosphor in die Schlacke geführt werden kann, um so mehr, je basischer diese ist.

Dem Engländer Sir Lowthian Bell gebührt vornehmlich das Verdienst, durch zahlreiche Versuche die für die Phosphorabscheidung aus Roheisen zu erfüllenden Bedingungen genauer erforscht zu haben[1]). Im Laufe der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts veröffentlichte er alsdann ein für den Betrieb im grofsen bestimmtes Verfahren für den in Rede stehenden Zweck, wobei das zuvor im Kupolofen geschmolzene oder auch unmittelbar aus dem Hochofen kommende flüssige Roheisen mit ebenfalls geschmolzenen oder doch gut vorgewärmten eisenoxydreichen Körpern — Hammerschlag, Frischschlacken, Eisenerzen — gemischt und dann, nachdem die Einwirkung stattgefunden hatte, durch Abstechen von der leichteren phosphorsäurehaltigen Schlacke getrennt wurde. Als Mischvorrichtung diente ein mit Eisenoxyden ausgefutterter, länglicher, trogartiger, oben überwölbter Behälter von etwa 4 m Länge, welcher sich wie ein Schwinghebel um zwei wagerechte Zapfen in schwingende Bewegung setzen liefs; eine Dampfmaschine diente dazu, diese Bewegung hervorzubringen. Das Schwingen wurde 10 Minuten lang wiederholt, wobei das Roheisen mit der zugesetzten Schlacke 60—80 mal hin und her flofs.

Es gelang auf diese Weise, graues Clevelandroheisen mit etwa 1,5 v. H. Phosphor in weifses Roheisen mit durchschnittlich 0,22 v. H. Phosphor und mitunter noch weniger umzuwandeln. Der Siliciumgehalt verringerte sich hierbei von 1,8 v. H. auf 0,5 v. H. Bei Verwendung gerösteter Clevelanderze als Entphosphorungsmittel betrug der Verbrauch etwa 50 v. H. des Roheisengewichts.

Fast zu derselben Zeit, als Bell in England seine Versuche anstellte und deren Ergebnisse dem Iron and Steel Institute vorlegte, nahm die Firma Fr. Krupp in Essen ein Patent auf ein Entphosphorungsverfahren für Roheisen, welches auf ganz ähnlichen Grundsätzen beruhte (1877). Während jedoch Bell den Mangangehalt des Roheisens unberücksichtigt liefs, empfahl Krupp ausdrücklich die Verwendung eines etwas manganhaltigen Roheisens. Der Mangangehalt sollte hierbei die doppelte Aufgabe erfüllen, den Kohlenstoff vor Verbrennung zu schützen und die Bildung einer basischen und trotzdem dünnflüssigen Schlacke zu befördern. Als Mischvorrichtung diente ein Pernotofen (S. 176 I).

Das Kruppsche Entphosphorungsverfahren ist in Essen und auf einigen nordamerikanischen Eisenwerken mehrere Jahre in Anwendung gewesen[2]). Über den Verlauf der Entphosphorung geben folgende, von Holley veröffentlichte Analysen Aufschlufs[3]):

---

[1]) Vergleiche Literatur.
[2]) Auf den Cambria-Eisenwerken noch im Jahre 1893. „Stahl und Eisen“ 1893, S. 1030.
[3]) Vergleiche Literatur.

	C	Si	P	S	Mn	Cu
Roheisen von Eisenhütte Phönix . . .	3,80	0,39	0,74	0,09	2,32	0,14
4 Minuten nach dem Einsetzen . . .	3,27	0,02	0,16	0,02	0,04	0,15
5½ " " " " . . .	3,27	0,01	0,14	0,02	0,12	0,14
7 " " " " . . .	3,32	0,02	0,10	0,03	0,06	0,14

Die erfolgende Schlacke enthielt:

SiO_2	FeO	MnO	Al_2O_3	CaO	P_2O_5
13,0	51,0	16,6	11,6	0,7	6,0

Ilseder Roheisen, welches unter Verwendung von Ilseder Erzen entphosphort wurde, enthielt:

	C	Si	P	Mn
Vor dem Einsetzen	2,50	0,25	2,92	2,61
Nach beendigtem Verfahren	2,40	Sp.	0,80	Sp.

und die entstandene Schlacke bestand aus:

SiO_2	FeO	MnO	Al_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5
10,40	41,00	19,30	2,00	7,30	0,70	20,00

Die Kosten des Verfahrens betrugen für 1000 kg Roheisen 4 bis 6 M., wenn das Roheisen unmittelbar aus dem Hochofen in den Entphosphorungsofen gebracht werden konnte.

Sehr bald nach Einführung der Entphosphorungsverfahren von Bell und Krupp wurde das in der dritten Abteilung der Eisenhüttenkunde beschriebene Thomasverfahren erfunden, welches die Erzeugung eines sehr phosphorarmen Flufseisens aus phosphorreichem Roheisen ermöglicht. Hierdurch verloren jene Verfahren ihre Bedeutung für den Betrieb, noch bevor sie allgemeinere Anwendung gefunden hatten. Für die Wissenschaft besitzen immerhin ihre Ergebnisse eine gewisse Wichtigkeit, da sie auf das Verhalten des Phosphors im Roheisen unter bestimmten Verhältnissen ein deutliches Licht werfen.

D. Die Entschwefelung und das Mischen des Roheisens.

Wie schon früher mitgeteilt wurde, ist durch Oxydation eine Ausscheidung von Schwefel aus dem Roheisen nicht oder nur in unbedeutendem Mafse erreichbar. Sie wird dagegen möglich, wenn das Roheisen der Einwirkung stark basischer, insbesondere kalkhaltiger Schlacken ausgesetzt wird, oder wenn man dem flüssigen Roheisen ein Metall zusetzt, dessen Verwandtschaft zum Schwefel gröfser ist als die des Eisens, welches also das Schwefeleisen zerlegt, und dessen eigenes Sulfid im flüssigen Eisen unlöslich oder doch schwer löslich ist. Als ein für diesen Zweck geeignetes Metall hat sich das Mangan erwiesen (S. 361 I).

Bei Besprechung des Kupolofenschmelzens wurde erwähnt, dafs man beim Schmelzen schwefelreichen Roheisens in gewöhn-

lichen Kupolöfen durch reichlichen Kalksteinzuschlag imstande sei, dem Roheisen einen Teil des Schwefelgehalts zu entziehen und in die Schlacke zu führen. In dem mit kieselsäurehaltigen Baustoffen ausgesetzten Kupolofen wird indes die Bildung stark basischer Schlacken durch den Umstand erschwert, daſs die Schlacken Kieselsäure aus dem Ofenfutter auflösen. Mit gröſserer Sicherheit darf man auf Erfolg rechnen, wenn man das Schmelzen in einem Kupolofen ausführt, dessen Schmelzraum mit basischen feuerfesten Baustoffen, z. B. Magnesiaziegeln, ausgesetzt ist.

Sehr kalkreiche Schlacken aber sind zugleich sehr strengflüssig; sie werden leichter schmelzbar, wenn man einen Teil des Kalksteines durch Fluſsspat ersetzt (S. 217 I). Nach Rollet, welcher im basischen Kupolofen auf dem Eisenwerke Givors Entschweflungsversuche durch Kalkstein- und Fluſsspatzusatz durchführte[1]) kann man zum Zwecke der Entschweflung auf 1000 kg Roheisen etwa 80 kg Kalk und 25 kg Fluſsspat zuschlagen; ist auch eine teilweise Entphosphorung durch Einwirkung des Windstromes auf das geschmolzene Eisen beabsichtigt, so muſs der Kalk- und Fluſsspatzusatz erhöht werden. Daſs auf diese Weise eine starke Entschweflung möglich sei, wird durch nachstehende, von Rollet veröffentlichte Analysen erwiesen.

	C	Si	Mn	S	P
1. Probe.					
Vor dem Schmelzen	3,50	0,90	1,30	0,22	0,07
Nach „ „	3,50	0,38	0,81	0,01	0,05
2. Probe.					
Vor dem Schmelzen	2,90	0,65	Sp.	0,37	0,35
Nach „ „	3,08	0,06	„	0,01	0,07
3. Probe.					
Vor dem Schmelzen	2,55	0,45	„	0,52	1,95
Nach „ „	2,80	0,12	„	0,04	0,41

Wie man sieht, wird neben Schwefel auch Phosphor abgeschieden. Auf einigen französischen Werken soll das Verfahren in Anwendung sein. Der Erfinder ist inzwischen verstorben.

Daſs auch eisenoxydulreiche Schlacken fähig sind, schwefelreichem Eisen einen reichlichen Teil seines Schwefelgehalts zu entziehen, wurde auf S. 360 I erwähnt. Einen ferneren Beleg dafür geben die oben mitgeteilten Analysen über den Verlauf des Kruppschen Entphosphorungsverfahrens. Neben Phosphor wurde auch der anwesende Schwefel beinahe vollständig ausgeschieden. Leider fehlt die Bestimmung des Schwefelgehalts in der Endschlacke; sie würde ergeben haben, daſs der Schwefel von der Schlacke aufgenommen worden war. Die gleiche Wirkung üben manganoxydulhaltige Schlacken. Durch Zusatz von Manganerz

[1]) Vergleiche Literatur.

neben Kalkstein im Kupolofen ist man imstande, den Schwefelgehalt stärker als durch den Kalksteinzuschlag allein abzumindern[1]).

Von der Eigenschaft des metallischen Mangans, aus dem Eisen Schwefel abzuscheiden, macht man seit 1890 im grofsen Anwendung zur Erlangung eines für die unmittelbare Verarbeitung durch das in der dritten Abteilung beschriebene Windfrischen (Bessemer- und Thomasverfahren) besser geeigneten Roheisens. Das Verfahren wurde auf dem Eisenwerke zu Hörde durch Massenez und Hilgenstock ausgebildet. Man mischt flüssiges manganarmes, schwefelreicheres Roheisen mit manganreicherem und schwefelärmerem, oder man überläfst auch nur das Roheisen, welches mangan- und schwefelhaltig ist, längere Zeit im flüssigen Zustande sich selbst, indem man gröfsere Mengen davon in einen geeigneten Behälter, den Mischer, bringt, nach Bedarf davon entnimmt und dem zurückbleibenden Metalle das frisch aus dem Hochofen abgestochene wiederkehrend zuführt. Auf der Oberfläche des Metalls scheidet sich alsdann eine schwefel- und manganreiche Schlacke ab und das hinterbleibende Metall wird schwefelärmer. Je höher der Mangangehalt des Roheisengemisches ist, desto deutlicher ist die Wirkung. Durch Bewegung des Metalls wird die Ausscheidung befördert. Als Mischer dient ein Behälter, welcher zur Aufnahme von mindestens 80 t, häufiger 100 bis 250 t, auf dem Werke der Ebb Vale Steel Co. sogar von 750 t[2]) Roheisen eingerichtet und beweglich gemacht ist, um die Mischung zu ermöglichen. In der Regel sind zwei Mischer vorhanden, damit der Betrieb keine Unterbrechung zu erfahren braucht, wenn der eine der Ausbesserung bedarf. Eine übliche Form dieser Mischer ist in Abb. 243 dargestellt. *A* ist der Behälter zur Aufnahme des Roheisens, mit zwei Zapfen in Lagern ruhend und mit Schamottziegeln oder besser mit Magnesitziegeln ausgesetzt, welche letztere der zerstörenden Wirkung der entstehenden Schlacke gegenüber sich als haltbarer erwiesen haben. *B* ist die auf einer Hochbahn laufende, vom Hochofen kommende Lokomotive, welche das in einer Pfanne befindliche Roheisen zuführt; durch Kippen der Pfanne findet die Entleerung in den Behälter statt, wie in der Abbildung angedeutet ist. Ist die Anlage einer Hochbahn nicht tunlich, so dient ein, gewöhnlich durch Wasserdruck betriebener Aufzug zur Beförderung des Pfannenwagens auf die oben angebrachte Bühne. *C* ist eine zweite Lokomotive mit Pfanne, welche das entschwefelte Roheisen aufnimmt und nach der Thomashütte befördert. Das Mischen des Roheisens und das Ausgiefsen in die Pfanne der Lokomotive *C* erfolgt mit Hilfe des Wasserdruckzylinders *D* in der aus der Abbildung erkennbaren Art und Weise[3]). Da von dem Inhalte des Mischers stets nur ein Teil mit einem Male zur Verarbeitung gelangt und inzwischen wiederkehrend frisches Roheisen nachgefüllt wird, bleibt die Zusammensetzung ziemlich gleichmäfsig. Die be-

---

1) Versuche hierüber: „Stahl und Eisen“ 1902, S. 415; 1903, S. 1134.
2) Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1905 I, S. 1256.
3) Über sonstige Formen von Roheisenmischern vergleiche „Stahl und Eisen“ 1901, S. 1099.

deutende Menge des in dem Behälter anwesenden Eisens verzögert zugleich die Abkühlung, so dafs die Temperatur bei ununterbrochener Benutzung beständig und das Roheisen ausreichend flüssig bleibt. Hat der Mischer kalt gelegen, so wird er zunächst durch ein Koksfeuer oder in anderer Weise stark erhitzt.

Die stattfindende Entschweflung ist, sofern der Mangangehalt des gemischten Roheisens nicht unter 1,5 v. H. sinkt, erheblich. Da das Ein- und Ausgiefsen stattfindet, ohne dafs Entleerung des Mischgefäfses eintritt, kann man ein Bild der eintretenden Ver-

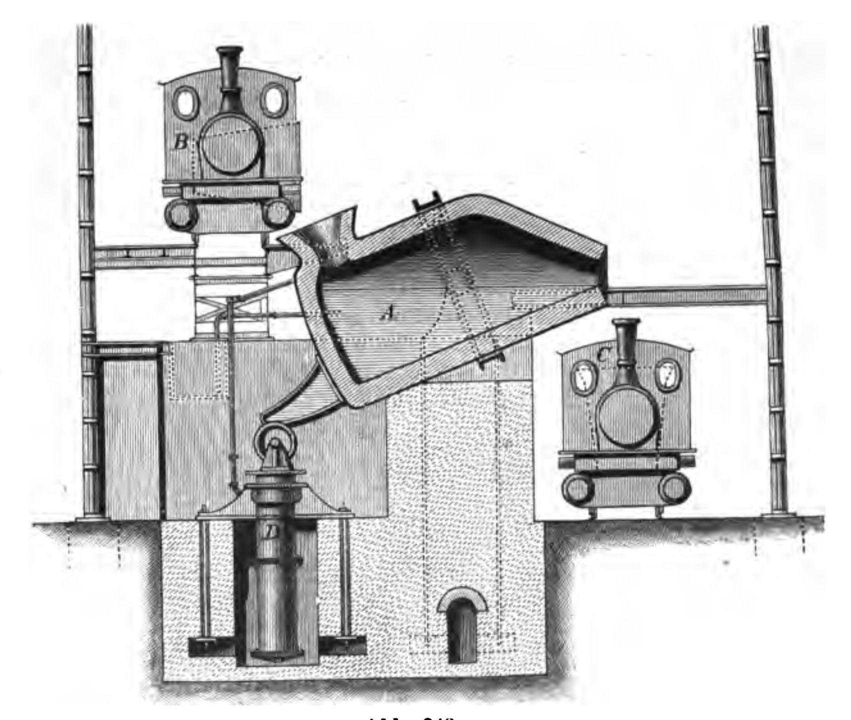


Abb. 243.

änderungen nur erhalten, wenn man die durchschnittliche Zusammensetzung einer gröfseren Zahl Proben des eingegossenen Roheisens der durchschnittlichen Zusammensetzung einer ungefähr gleich grofsen Zahl Proben des in derselben Zeit ausgegossenen Roheisens gegenüberstellt. Die Ziffern der auf der nächsten Seite folgenden Tabelle sind in dieser Weise ermittelt worden.

Je niedriger der Mangangehalt des aus dem Mischer kommenden Roheisens ist, desto höher ist sein Schwefelgehalt, wie die Ziffern erkennen lassen. Bei 1 v. H. Mangan im Roheisen ist der Schwefelgehalt durchschnittlich 0,09 v. H.[1]).

---

[1]) „Stahl und Eisen“ 1897, S. 800. Sonstige, diese Angabe bestätigende Analysen: „Stahl und Eisen“ 1891, S. 386.

	Silicium	Phosphor	Mangan	Schwefel
Mittelwerte von 15 an einem Tage genommenen Proben des vom Hochofen kommenden Roheisens verschiedener Abstiche[1]	0,24	2,22	2,70	0,137
Mittelwerte von 15 an demselben Tage genommenen Proben des entschwefelten Roheisens	0,23	2,18	2,42	0,038
Mittelwerte von 13 Proben des vom Hochofen kommenden Roheisens verschiedener Abstiche an einem Tage[1]	0,31	2,16	2,16(?)	0,111
Mittelwerte von 14 an demselben Tage genommenen Proben des entschwefelten Roheisens	0,27	2,02	2,16	0,040
Mittelwerte von 23 im Laufe eines Monats genommenen Proben des vom Hochofen kommenden Roheisens[2]	n.best.	n.best.	n.best.	0,163
Mittelwerte von ebensoviel gleichzeitig genommenen Proben des entschwefelten Roheisens	0,22	2,80	1,46	0,06

Ist der Weg lang, den das Roheisen vom Hochofen bis zum Mischer zurückzulegen hat, so kann schon hierbei in der Pfanne eine Entschwefelung stattfinden. Nach Osann[3]) beträgt in Gutehoffnungshütte, wo das Roheisen einen Weg von 10 Minuten Dauer bis zum Mischer zurückzulegen hat, der mittlere Mangan- und Schwefelgehalt des Roheisens

	Mn	S
beim Abstiche am Hochofen	1,16 v. H.	0,19 v. H.
bei der Ankunft am Mischer	0,88 „ „	0,11 „ „
„ „ „ an der Thomasbirne . .	0,78 „ „	0,06 „ „

Es ist also während der Beförderung zum Mischer ein noch reichlicherer Schwefelgehalt ausgeschieden worden als in dem Mischer selbst. Die entstehende Schlacke besitzt eine wechselnde Zusammensetzung. Ihr Schwefelgehalt kann zwischen 2 bis 17 v. H. schwanken und ist zum Teil davon abhängig, in welchem Mafse die Luft Zutritt zu der flüssigen Schlacke fand. Durch den Sauerstoffgehalt der Luft wird Mangansulfür oxydiert, und schweflige Säure entweicht. Beispiele der Zusammensetzung sind nachstehend gegeben:

	1.	2.	3.
SiO_2	18,90	35,70	n. best.
Al_2O_3	5,00	n. best.	2,46
MnO	20,23	36,88	45,22
MnS	28,01	14,11	19,02
FeO	25,46	5,01	6,78
CaS	3,53	—	—
CaO	—	n. best.	2,58
MgO	0,43	„	0,19
P_2O_5	n. best.	„	0,31

[1]) Persönliche Mitteilung.
[2]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1891, II, S. 80.
[3]) „Stahl und Eisen" 1904, S. 444.

1. In Hörde erfolgte Schlacke („Stahl und Eisen“ 1891, S. 801).
2. In Hayingen erfolgte Schlacke (The Journal of the Iron and Steel Institute 1892 I, S. 112).
3. In Oberhausen erfolgte Schlacke. Wie 2.

Das gleiche Verfahren, ein Mischen von Roheisen verschiedener Zusammensetzung, wird nun, wie oben erwähnt wurde, auf zahlreichen Werken auch lediglich zu dem Zwecke ausgeführt, einen Ausgleich der Schwankungen der chemischen Zusammensetzung des Roheisens verschiedener Abstiche zu erzielen, selbst wenn eine Schwefelabscheidung hierbei nicht beabsichtigt sein sollte. Für diesen Zweck sind Roheisenmischer, deren Einrichtung ganz die nämliche ist, wie oben beschrieben, schon seit 1884 durch Jones auf den Consettwerken bei Pittsburg in Anwendung gebracht[1]; erst seit das Verfahren allgemeiner wurde, hat auch die unmittelbare Verarbeitung des flüssigen Roheisens aus dem Hochofen mit Umgehung des Umschmelzens in Kupol- oder Flammöfen umfänglichere Benutzung gefunden. Seinem Wesen nach ist es freilich, ebenso wie das Mischen zum Zwecke der Entschweflung, nur für den Grofsbetrieb geeignet.

Literatur.

a) Einzelne Werke.

Über Schmelzöfen für Roheisen.

E. F. Dürre, Handbuch des Eisengiefsereibetriebes. 3. Auflage (Leipzig 1890), Bd. 1, S. 475—654.
A. Ledebur, Handbuch der Eisen- und Stahlgiefserei. 3. Auflage (Leipzig 1901), S. 79—153.

Über die älteren Verfahren zur Reinigung des Roheisens.

H. Wedding, Die Darstellung des schmiedbaren Eisens. Braunschweig 1875, S. 24.

b) Abhandlungen.

Über Schmelzöfen.

C. Steffen, Der Piatsche Tiegelschmelzofen. „Stahl und Eisen“ 1890, S. 189.
H. Wedding, Neuere Fortschritte in der Einrichtung von Metall-Tiegelschmelzöfen. Sitzungsberichte des Vereins für Beförderung des Gewerbfleifses 1898, S. 190.
Eisenbach, Baumanns aufkippbarer Vorwärm- und Tiegelofen. „Stahl und Eisen“ 1898, S. 547.
Wagner, Über den Bau von Gufsflammöfen und deren Betrieb. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1857, S. 115.
K. Wittgenstein und A. Kurzwernhart, Über die Fabrikation von Stahlschienen mit Braunkohlen in Teplitz (Siemens-Flammofen zum Roheisenschmelzen). „Stahl und Eisen“ 1883, S. 211.
F. Fischer, Über Kupolöfen. Dinglers polyt. Journal Bd. 231 S. 38.
A. Ledebur, Über Kupolöfen. Civilingenieur, Bd. 13, Heft 8.
G. Ahlemeyer, Der Ibrüggersche Kupolofen. Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Bd. 9, S. 231.
H. Frey, Der Faulersche Kupolofen. Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1881, S. 321.

[1]) Ludw. Beck, Die Geschichte des Eisens, Band 5, S. 680.

Amerikanische Kupolöfen für Bessemerhütten. Dinglers polyt. Journal, Bd 241, S. 296 (aus Engineering 1880, S. 592).
A. Ledebur, Kupolöfen mit Wasserkühlung. Berg- und hüttenm. Ztg. 1878, S. 150.
A. Ledebur, Das Kupolofenschmelzen in alter und neuer Zeit. „Stahl und Eisen" 1885, S. 121.
A. Ledebur, Über die Schmelzöfen der Eisengiefsereien. Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Bd. 19 (1886), S. 166.
O. Gmelin, Ein neuer Kupolofen mit Wasserkühlung. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1882, S. 526; „Stahl und Eisen" 1882, S. 306.
Beckert, Kupolofen mit Dampfstrahl. „Stahl und Eisen" 1896, S. 399, 557.
A. Gouvy, The construction of the cupolas. Engineering and Mining Journal, Band 47, S. 161.

Über Reinigung des Roheisens.

L. Bell, On the separation of carbon, silicon, sulphur and phosphorus in the refining and puddling furnaces. The Journal of the Iron and Steel Institute 1877, S. 108, 322; deutsch bearbeitet in der Zeitschrift des berg- u. hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1877, S. 385.
L. Bell, On the separation of phosphorus from pig-iron. The Journal of the Iron and Steel Institute 1878, S. 17.
J. E. Stead, Phosphor und Eisen. Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1878, S. 67 (aus Iron).
A. Holley, Washing phosphoric pig-iron for the open-hearth process at Krupp works. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Bd. 8, S. 156; deutsch in der Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1879, S. 413.
C. Petersen, Die Entphosphorung des Roheisens nach Krupps Patent. Wochenschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1880, S. 36.
P. Tunner, Der Hamoirprozefs. Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1878, S. 1.
A. Rollet, Le cubilot comme appareil épurateur des fontes. Bulletin de la société de l'industrie minérale 1882, S. 879; daraus in „Stahl und Eisen" 1883, S. 305.
A. Rollet, Über die Reinigung, des Eisens von Phosphor und Schwefel. „Stahl und Eisen" 1890, S. 516 (aus The Journal of the Iron and Steel Institute 1890 I, S. 154).
P. Rensch, Entfernung des Schwefels aus dem Koks und Roheisen im Kupolofen. „Stahl und Eisen" 1902, S. 415.
F. Wüst, Manganerz als Entschweflungsmittel im Kupolofen. „Stahl und Eisen" 1903, S. 1134.
F. Wüst, Über die Wirkung des Kalksteinzuschlages beim Kupolofenschmelzen. „Stahl und Eisen" 1904, S. 28.
Wedemeyer, Über die Verwendung von Manganerzen als Entschweflungsmittel beim Schmelzen von Gufseisen. „Stahl und Eisen" 1904, S. 1316, 1377.
P. Tunner, Zur Abscheidung des Schwefels aus flüssigem Roheisen. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1891, S. 205.
J. Massenez, On the elimination of sulphur from pig-iron. The Journal of the Iron and Steel Institute 1891 II, S. 76.
G. Hilgenstock, Über das Schwefelabscheidungsverfahren. „Stahl und Eisen" 1891, S. 798.
G. Hilgenstock, Neuere Methoden zur Entschweflung des Roheisens. „Stahl und Eisen" 1893, S. 455.
A. Knaff, Betriebsergebnisse im Roheisenmischer. „Stahl und Eisen" 1896, S. 100.
Kintzlé, Der Thomasprozefs (enthält Mitteilungen über Roheisenmischer). „Stahl und Eisen" 1897, S. 381.
Nocker, Neuere Roheisenmischer. „Stahl und Eisen" 1902, S. 307.

Sachverzeichnis.

A.

Anblasen der Hochöfen 162.
Anthracite beim Hochofenbetriebe 218.
Antimon, Verhalten im Hochofen 191.
Arsen und Eisen 11.
Arsen, Verhalten im Hochofen 191.
Ausblasen der Hochöfen 181.
Ausfalleisen 16.

B.

Baumanns Tiegelofen 299.
Belgischer Gasfang 76.
Bells Entphosphorungsverfahren 331.
Beschickung der Hochöfen, Berechnung 234.
Blauöfen 29, 38.
Blei, Verhalten im Hochofen 191, 289.
Blum, Beschickungsberechnung bei Hochöfen 251.
Bodenstein bei Hochöfen 58.
Boeckers Düsenständer 134.
" Winderhitzer 125.
Braunkohle beim Hochofenbetriebe 218.
Brucheisen, Begriff 3.
Buderus Gasfang 85.
Burgers Ventil für Winderhitzer 128.
Büttgenbach-Hochofen 54.

C.

Chrom, Verhalten im Hochofen 191.
Clevelandgebläse 107.
Coaks, Cokes, siehe Koks.
Cowpers Winderhitzer 122.
Cupolöfen, siehe Kupolöfen.
Cyanide im Hochofen 191, 292.
Cyansticksfofftitan 292.

D.

Dämpfen der Hochöfen 181.
Darbys Gasfang 77.
Drahtseilbahn für Hochöfen 152.
Durchsetzzeit bei Hochöfen 206.
Düse bei Hochöfen 134.
Düsenstock 132.

E.

Eisenkasten bei Hochöfen 35.
Eisenmangan 3, 22.
" Darstellung 232.
Eisenportlandzement 284.
Entphosphorung, Entschweflung, siehe Phosphor, Schwefel.
Erschütterungen, Einflufs auf die Festigkeit des Gufseisens 9.
Erztaschen 151.
Esse bei Gichtgasfeuerungen 94.

F.

Faber du Faur 73, 75.
Feinen, Ausführung des — s 327.
Feinfeuer 329.
Feinfeuerschlacke 330.
Feinofen 329.
Ferromangan, siehe Eisenmangan.
Ferrosilicium, siehe Siliciumeisen.
Festigkeitseigenschaften des Gufseisens 9.
Flammöfen zum Roheisenschmelzen 303.
Flammofenfrischen, siehe Puddeln.
Flossen 173.
Flufseisen, allgemeine Eigenschaften, siehe Schmiedbares Eisen.
Flufsspat als Zuschlag 333.
Flufsstahl, siehe auch Tiegelstahl, Bessemermetall, Thomasmetall, Martinmetall.
Forelleneisen 19.
Formen, siehe Schlackenformen, Windformen.
Frischeisen im Hochofen 212.
Frischereiroheisen 4.
Füllung (bei Hochöfen) 49.
Futtern des Hochofens 329.

G.

Gaares Roheisen 18.
Gaargang des Hochofens 210.
Gänze 173.
Gasfänge bei Hochöfen 74.
Gasfeuerung beim Hochofenbetriebe 219.
Gaskraftmaschinen, durch Gichtgase betrieben 72, 91.

Gattierung der Erze 221.
Gebläse für Hochöfen 100.
" " Kupolöfen 311.
Gefüge des Roheisens 11.
Gestell 35, 44.
Gicht 32.
Gichtaufzüge bei Hochöfen 147.
" " mit Seilbetrieb 148.
Gichtbühne bei Hochöfen 69.
Gichtgase der Hochöfen, Zusammensetzung 277; Entziehung 71; Leitungsrohre für die — 86; Reinigung 87; Verbrennung 94.
Gichtschwamm 288.
" Beseitigung des —s 179.
Gichtstaub, Zusammensetzung 290.
" Entfernung 89.
" Menge des —s 88.
Giefsereiroheisen 4, 236.
Giefsbett 174.
Giefsmaschinen beim Hochofenbetriebe 175.
Giefspfanne für Roheisen 173.
Glas aus Hochofenschlacke 288.
Graphit im Roheisen 4.
" Einflufs auf die Eigenschaften des Roheisens 10.
Graues Roheisen 13.
" " gewöhnliches 18.
" " Darstellung 222.
Grauspiegel 26.
Greiner und Erpfs Kupolofen 316.
Grelles Roheisen 20.
Grobspiegel 25.
Gufseisen, Begriff 3.

H.

Halbiertes Roheisen 19, 25.
Halbspiegeleisen 25.
Hämatitroheisen 11.
Hängen der Gichten 214.
Härte des Roheisens 8.
Härtungskohle, Einflufs auf die Eigenschaften des Roheisens 10.
Heifsgaarer Hochofengang 213.
Herd bei Hochöfen 35, 37.
" " Kupolöfen 313.
Hochofen, Geschichtliches 29.
" innere Form und Abmessungen 32.
" mit offener und geschlossener Brust 37.
" Rauminhalt 41.
" innere Abmessungen 42.
" Bau 47.
" mit Rauhgemäuer 47.
" schottischer 51.
" freistehender 54.
" Arbeiten beim — 162.
" Anblasen des —s 162.
" Dämpfen des —s 181.
" Ausblasen des —s 181.
" Vorgänge im — 182.
Hochofen, Gase des —s 192.
" Temperaturmessungen beim — 203.
Hochofenbeschickung, Berechnung der — 234.
Hochofenbetrieb, Ergebnisse des —s 262.
" Wärmebilanz des —s 256.
" Nebenerzeugnisse des —s 277.
Hochofengebläse 100.
Hochofengichtgase 192, 277.
Hochofensau 292.
Hochofenschlacken, Zusammensetzung 222, 225, 228, 231, 234, 278.
" Verwendung 278.
Hochofenschmelzen, Arbeiten 162.
" chemischer Verlauf 182.
Holz beim Hochofenbetriebe 219.
Holzkohle beim Hochofenbetriebe 216.
Holzkohlenroheisen 4, 18.
Hydraulische Aufzüge, siehe Wasserdruckaufzüge.

I.

Ireland-Kupolofen 315.

K.

Kalium, Verhalten im Hochofen 191.
Kalkelend 179.
Kalkstein, Brennen des —s 187.
" beim Kupolofenschmelzen 319.
Kerneisen 25.
Kieselsäure, haarförmige 292.
Kleinspiegel 25.
Kobalt, Verhalten im Hochofen 191.
Kohlensack 35, 43.
Kohlenstoff, Verhalten beim Kupolofenschmelzen 324.
Koks, Verhalten beim Hochofenbetriebe 217.
Koksroheisen 4, 19.
Kompensatoren 131.
Krigars Kupolofen 318.
Krupps Entphosphorungsverfahren 331.
Kühlungen bei Hochöfen 62.
" " Kupolöfen 314.
Kupfer im Eisen 11.
" Verhalten im Hochofen 191.
Kupolöfen 308.
" Windberechnung bei — 311.
" Beispiele von — 315.
Kupolofengase 327.
Kupolofenschlacken 326.
Kupolofenschmelzen, chem. Verlauf 321.
" Betriebsergebnisse 319.

L.

Lagerung der Schmelzstoffe 159.
Langens Gasfang 84.
Läutern des Roheisens 327.
Lichtgraues Roheisen 19.

Liegende Gebläse 103.
Literatur über Roheisen 28; über Einrichtung der Hochöfen 97, über Erzeugung, Trocknung und Erhitzung des Windes bei Hochöfen 145; über Gichtaufzüge 158; über Anfuhr und Lagerung der Schmelzstoffe 161; über das Hochofenschmelzen 272; über die Nebenerzeugnisse des Hochofenbetriebes 293; über Umschmelzen und Reinigen des Roheisens 337.
Luftdruckaufzüge 156.
Lürmanns Schlackenform 66.
„ Hochofenstopfbuchse 70.
„ Verbrennungskammer für Gichtgase 94.

M.

Mangan, Einfluſs auf die Eigenschaften des Roheisens 10, 14.
„ Abscheidung aus dem Eisen 328.
Mangan, Verhalten im Hochofen 189; beim Tiegelschmelzen 308; beim Flammofenschmelzen 307; beim Kupolofenschmelzen 322.
Manometer 136.
Masseln 173.
Massezustellung bei Hochöfen 62.
Matteisen 24.
Meliertes Eisen, siehe Ausfalleisen.
Möller 168.
Mrázeks Berechnung der Hochofenbeschickung 236.

N.

Naſsreinigung der Gichtgase 91.
Natrium, Verhalten im Hochofen 191.
Nebenerzeugnisse der Hochöfen 277.
Nickel, Verhalten im Hochofen 191.

O.

Oberfeuer bei Hochöfen 187, 208.
Ofenbruch 288.
Ofensau 292.

P.

Parrys Gasfang 79.
Pforts Gasfang 76.
Phosphor, Abscheidung aus dem Eisen 330.
„ Einfluſs auf die Eigenschaften des Roheisens 10, 14.
„ Verhalten im Hochofen 190.
„ „ „ Kupolofen 324.
„ „ „ Flammofen 308.
Piats Tiegelofen 298.
Platz, Beschickungsberechnung bei Hochöfen 247.
Pneumatischer Aufzug, siehe Luftdruckaufzug.
Portlandzement aus Hochofenschlacke 284.
Puzzolanzement aus Hochofenschlacke 282.
Pyrometer 139.

R.

Rast 35.
Raststeine, Anordnung der — 60.
Rastwinkel 43.
Regulatoren (bei Gebläsen) 109.
Rengel 212.
Roheisen, Begriff 3.
„ graues 13, 222.
„ weiſses 22, 226.
„ innere Anordnung 4.
„ spezifisches Gewicht 6; Schmelztemperatur 6; Dünnflüssigkeit 8; Festigkeitseigenschaften 9.
„ Umschmelzen des —s 294.
„ Läuterung des —s 327.
Roheisenmischer 334.
Roheisenpfanne 173.
Roheisenstich bei Hochöfen 37.
Rohgang beim Hochofen 210.
Rollets Entschweflungsverfahren 333.
Rostschlagen 164.
Rüssel der Windformen 63.

S.

Saigerung des Roheisens 4.
Saugkupolöfen 311.
Saumspiegel 26.
Schacht 35.
Schlacken-Analysen siehe Hochofenschlacken, Rennfeuerschlacken usf.
Schlackenform 40, 66.
Schlackenpochwerk 279.
Schlackensand 279.
Schlackenspur 60.
Schlackenstich bei Hochöfen 38.
Schlackentrift 39.
Schlackenwagen 171.
Schlackenwolle 280.
Schlackenzement 282.
Schlackenziegel 284.
Schmelzsäule 33.
Schmelztemperatur des Roheisens 7.
Schmidts Absperrvorrichtung für Winderhitzer 129.
Schottischer Hochofenbetrieb 217.
Schwefel beim Tiegelschmelzen 303.
„ Verhalten beim Flammofenschmelzen 308.
„ Verhalten beim Kupolofenschmelzen 325.
„ Abscheidung aus Roheisen 332.
Schwefelgehalt, Einfluſs auf die Eigenschaften des Roheisens 11, 15; auf die Dünnflüssigkeit des Guſseisens 8.
Schwinghebelgebläse 104.
Serainggebläse 105.
Silicium, Einfluſs auf die Eigenschaften des Roheisens 10, 14.
„ Abscheidung aus dem Eisen 328.

Silicium, Verhalten im Hochofen 190.
„ „ beim Tiegelschmelzen 302.
„ „ „ Flammofenschmelzen 307.
„ „ „ Kupolofenschmelzen 322.
Siliciumeisen, Begriff, Eigenschaften 3, 17.
„ Darstellung 221.
Siliciumspiegel 26.
Spezifisches Gewicht des Roheisens 6.
Spiegeleisen 25.
„ Darstellung 229.
Spiel des Roheisens 19.
Staub in Gichtgasen 87; Zusammensetzung 290.
Staubfänge bei Hochöfen 90.
Steinkohle beim Hochofenbetriebe 217.
Stichloch, siehe Roheisenstich.
Stückofen 35.
Sturzöfen 310.

T.

Taschen (Erz- oder Kokstaschen) 161.
Tiefgraues Roheisen 18.
Tiegelschmelzen, des Roheisens 295.
Titan und Eisen 11.
„ Verhalten im Hochofen 191, 292.
Torf beim Hochofenbetriebe 218.
Treibeisen 24.
Trémie 76.
Trockenreinigung der Gichtgase 88.
Trocknung des Gebläsewindes 110.
Tümpel, Tümpelstein 39, 60.
Tümpeleisen 60.

U.

Übersetzter Hochofengang 213.
Uehlings Giefsmaschine 176.
Umschmelzen des Roheisens 249.

V.

Vanadin, Verhalten im Hochofen 191.
Versetzungen im Hochofen 179.
Vierpafs (bei Hochöfen) 49.
Von Hoffs Gasfang 82.
Vorwärmer bei Tiegelöfen 299.

W.

Wallstein 39, 60.
Wärmebilanz bei Hochöfen 256.
Wascheisen 280.
Wasserdampf, Verdichtung bei Hochofen-Gichtgasen 87.
Wasserdruckaufzüge 156.
Wasserkühlungen, siehe Kühlungen.
Wassertonnenaufzüge 154.
Weifseisen 24; Darstellung 226.
Weifsstrahl 24; „ 226.
Wests Kupolofen 318.
Whitwells Winderhitzer 120.
Wilkinsonöfen 310.
Windberechnung bei Hochöfen 140.
„ „ Kupolöfen 311.
Winderhitzer, allgemeines 111.
„ eiserne 113.
„ steinerne 117.
Winderhitzung, Einflufs auf den Hochofengang 206.
„ bei Kupolöfen 314.
Windformen bei Hochöfen 33, 44, 62.
Windleitung bei Höchöfen 130.
Windmenge „ „ 204.
Windpressung bei „ 204.

Z.

Zähigkeit des Roheisens 9.
Zentralrohr 77.
Zink, Verhalten im Hochofen 190.
Zinkische Anbrüche 290.
Zinkoxyd im Hochofen 190.
Zustellen der Hochöfen 59.
Zylindergebläse 103, vergleiche auch Liegende Gebläse, Schwinghebelgebläse, Seraingebläse, Clevelandgebläse.

Piererche Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co. in Altenburg.

